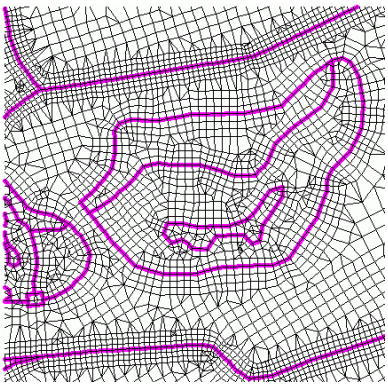
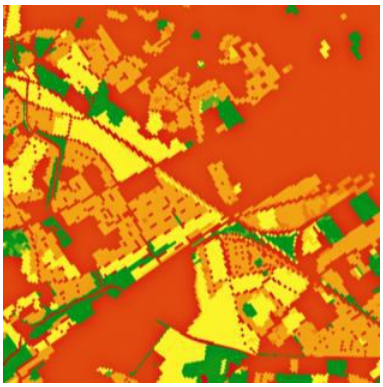
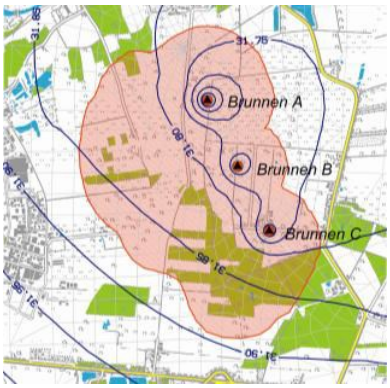


SPRING

Simulation of Processes in Groundwater

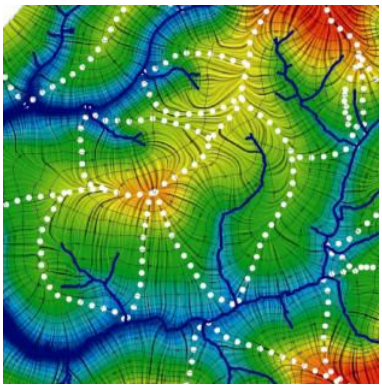


Benutzerhandbuch



Die professionelle Software für die Gewässersystem-Modellierung.

- Grundwasserströmungsmodelle
- Stofftransportmodelle
- Wärmetransportmodelle



SPRING – Ein Produkt der delta h Ingenieurgesellschaft mbH.

delta h Ingenieurgesellschaft mbH
Parkweg 67
58453 Witten
http://spring.delta-h.de
info@delta-h.de

Autoren:
Prof. Dr.-Ing. Christoph M. König,
Martin Becker, Annette Diehl, Torsten Seidel, Dr.-Ing. Britta Rosen, Dr. Otto Rüber, Barbara Werth, Christian Zimmermann

SPRING-Version 4.24
Stand 25.09.2015

1 Inhaltsverzeichnis

1 Inhaltsverzeichnis 3
2 Einführung in SPRING 4 5
2.1 SPRING - Leistungsmerkmale 6
2.2 Systemanforderungen 7
2.3 Installation 8
2.4 Programmstart 9
2.5 Von der Natur zum Modell 10
2.6 SPRING Benutzeroberfläche 15
2.7 Neue Funktionen 20
2.8 Hilfe 25
2.9 Support 26
3 Datenstruktur des Grundwassermodells 27
3.1 Aufbau der Modelldateien 28
3.2 Beschreibung der Datenarten 41
3.3 Ortsdiskretisierung 73
3.4 Zeitdiskretisierung 78
4 SPRING-Menüs 80
4.1 Datei 81
4.2 Bearbeiten 83
4.3 Ansicht 97
4.4 Struktur 111
4.5 Kontur 125
4.6 Netz 130
4.7 Attribute 142
4.8 Karte 166
4.9 Layer 169
4.10 Objekt 171
4.11 Raster 175
4.12 Extras 177
4.13 Berechnung 186
4.14 Hilfe 187
5 Aufbau der einzelnen Modellarten 188
5.1 Aufbau eines 2D-Modells 189
5.2 Aufbau eines 3D-Modells 215
5.3 Aufbau eines instationären Transportmodells 231
5.4 Aufbau eines 3D-Vertikalmodells 234
6 Berechnungen 240
6.1 Modellprüfung 241
6.2 Interpolation 244
6.3 Modellkalibrierung (Gradientenverfahren) 264
6.4 Modellkalibrierung (Inverses Verfahren) 268
6.5 Stationäre Strömung 280
6.6 Instationäre Strömung 290
6.7 Stofftransport 301
6.8 Dichteabhängiger Stofftransport 318
6.9 Wärmetransport 324
6.10 Transport mit invertierter Strömung 332
7 Datenexport 333
7.1 Formatierte Datenausgabe 334
7.2 Datenausgabe für ArcInfo 336

7.3 Datenausgabe im SHAPE-Format ... 338
7.4 Datenausgabe für TECPLOT ... 341
7.5 Ausgabe von Stromlinien ... 343
7.6 Ausgabe von Ganglinien ... 345
7.7 Ausgabe der Schlierendarstellung ... 347
7.8 Ausgabe der Differenzen zu Messdaten ... 352
7.9 Ausgabe von instationären Daten aus Berechnungsergebnissen ... 354
7.10 Ausgabe von Ergebnisdaten für bestimmte Bereiche ... 356
8 Ploterstellung ... 357
8.1 Draufsicht/Kartenerstellung ... 358
8.2 Ansicht/Profildarstellung ... 363
8.3 Darstellungsarten ... 365
8.4 Erweiterte Einstellungen ... 379
8.5 3D-Drahtmodell ... 384
8.6 Batchdatei der Ploterstellung ... 386
9 How To ... 402
9.1 Ermittlung von Einzugsgebieten ... 403
9.2 Massenbilanzen ... 411
9.3 Berechnung mittlerer Neubildungsraten ... 417
9.4 Berechnung einer instationären Neubildungsrate ... 432
9.5 Leakage-Beziehungen und Vorflutinteraktionen ... 436
9.6 Flutungssimulation von Grubenbauwerken ... 441
10 Anhang ... 451
10.1 Aufbau und Inhalt der Ergebnisdateien ... 452
10.2 Hintergrunddateien ... 454
10.3 Interne Datenkennungen ... 455
10.4 Informationen in der Datei xsusi.kenn ... 461
11 Index ... 465

2 Einführung in SPRING 4

Willkommen zu SPRING 4, der neuesten Version des seit mehr als 30 Jahren bewährten Programmsystems zur Grundwassermodellierung.

Ob im Bereich Bergbau, im Tiefbau, bei der Wasserversorgung, bei der Grundwassersanierung oder der Geothermie: Bei all Ihren Planungs- und Beratungsleistungen unterstützt Sie unsere bewährte Software SPRING.

Das auf einer Entwicklung der Ruhr-Universität Bochum basierende Programmsystem ermöglicht die Berechnung von dreidimensionalen Grundwasserströmungs-, Oberflächengewässer-, Wärme- und Stofftransportmodellen.

SPRING 4 ist zusammen mit dem Fachwissen und der Erfahrung unserer Mitarbeiter die beste Basis für Ihren Projekterfolg.

SPRING = Simulation of Processes in Groundwater

2.1 SPRING - Leistungsmerkmale

- Finite-Elemente-Methode
- 1D, 2D- und 3D-Elemente, beliebig kombiniert
- Interaktive Netzerstellung mit automatischer Netzgenerierung und Netzverfeinerung
- Auslaufende Schichten bei 3D-Modellen
- Stochastische Kluft-Berechnung
- Exakte Abbildung geologischer Strukturen durch zusammenfallende Schichten
- Berücksichtigung von Tunnelbauwerken
- Stationäre / instationäre Berechnungen
- Stromlinien, Bahnlinien- und Fließzeitberechnung
- Gesättigt / ungesättigte Strömung mit Berechnung der freien Oberfläche
- Wärmetransport
- Dichteabhängige Strömung
- Stofftransport unter Berücksichtigung von Dispersion / Diffusion, Adsorption, Produktion, Zerfall und Abbau
- Transport von Nuklidketten
- Reaktiver Stofftransport
- Flutungssimulation durch Boxmodelle
- Automatische Kalibrierverfahren (Gradientenverfahren und inverse Modellierung)
- Vorflutströmung (Leakage, mit Mengenbeschränkung)
- Spezielle Randbedingungen für geothermische Berechnungen
- Neubildungsberechnung anhand einer klimatischen Bodenwasserbilanz
- Schnittstelle zum Programmsystem ArcInfo
- Steuerung des Programmablaufs interaktiv über die grafische Oberfläche von SPRING oder über Batch-Dateien
- Umfangreiche Nachbearbeitungsmöglichkeiten der dargestellten Ergebnisse mit Einblendung von Bitmap (TIFF) - Dateien sowie Ausgabe im DXF-Format
- Möglichkeit zur automatischen Interpolation instationärer Randbedingungen zwischen den vorgegebenen Zeitschritten
- Ausgabemöglichkeit der Modelldaten und Berechnungsergebnisse in frei wählbarem Format als ASCII-Datei.
- Automatische Kalibrierverfahren
- Gewässernetzbezogene Vorflutbilanzierung
- Stochastische Einzugsgebietsermittlung

2.2 Systemanforderungen

- Windows 7, Vista, XP
- 512 MB RAM (2 GB empfohlen)
- wenigstens 300 MB freier Festplattenspeicher
- 1024 x 768 Bildschirmauflösung (1280 x 1024 empfohlen)

2.3 Installation

1. Schließen Sie alle geöffneten Anwendungen.
2. Legen Sie die Produkt-CD bzw. DVD in das entsprechende Laufwerk des Computers ein.
3. Wenn der Autoplay-Bildschirm angezeigt wird, folgen Sie den Anweisungen.

Hinweis: Wird der Autoplay-Bildschirm nicht automatisch aufgerufen, wählen Sie auf dem Desktop „Computer“, wählen das Symbol des Laufwerks und schließlich die Datei „setup.exe.“

Die Anzahl der Computer, auf denen Sie die Software installieren dürfen, finden Sie in der Lizenzvereinbarung, die Bestandteil der Software ist.

2.3.1 Aktualisieren von SPRING

Delta h stellt für Wartungskunden in Abständen Updates für die Software zur Verfügung. Sie können diese Updates bequem über das delta h – Download Center abrufen. Sie benötigen dazu eine aktive Internetverbindung.

1. Klicken Sie in SPRING 4 oben rechts auf die Schaltfläche *Hilfe → Nach Updates* suchen.
2. Wählen Sie die Aktualisierung aus und downloaden diese auf Ihren Rechner.
3. Folgen sie der enthaltenen Installationsanleitung.

2.4 Programmstart

Das Programm kann über *Start* – *Programme* – *SPRING* gestartet werden, oder, wenn Sie eine Desktop-Verknüpfung erstellt haben, mit einem Doppelklick auf das entsprechende Symbol:

2.5 Von der Natur zum Modell

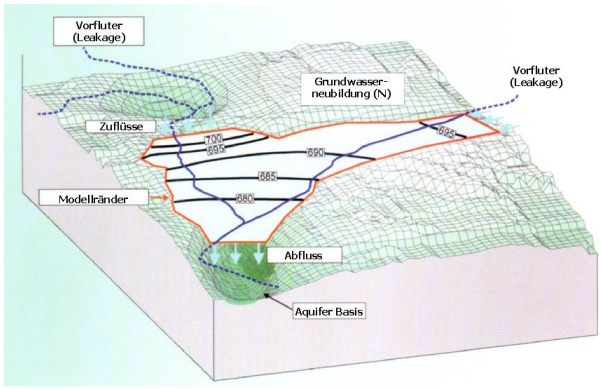


Abb. 1: Von der Natur zum Modell

Ein Grundwassermodell soll reale hydrogeologische Verhältnisse abbilden. Dazu müssen zuerst Rohdaten wie z.B. Grundwassermessstellen und Wasserstandsmessungen, geologische und topographische Karten und sonstige wasserwirtschaftliche Unterlagen gesammelt und eine Fragestellung der Untersuchung formuliert werden.

Daraus ergibt sich die Wahl der Modellränder und der zu berücksichtigenden Grundwasserleiter:

Hier beginnt die Arbeit mit SPRING.

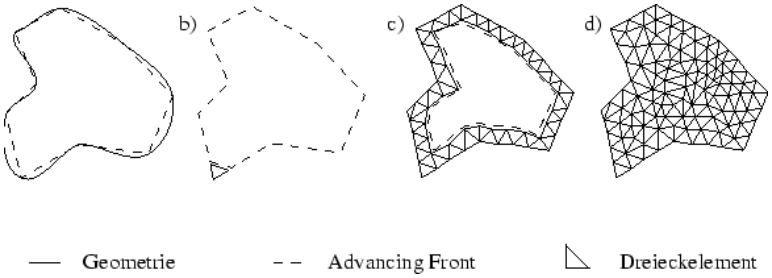


Abb. 2: Vom Gebietsrand zum Modellgebiet

Alle Rohdaten werden durch Datenexport oder Digitalisierung in SPRING eingelesen und als Strukturen gespeichert. Die Strukturen sind netzunabhängig. Die Daten können bereits jetzt visualisiert und einer ersten Kontrolle unterzogen werden.

Ein systematischer Modellaufbau mit SPRING lässt sich folgendermaßen schematisieren:

Aus **Daten** werden **Strukturen**,
aus netzrelevanten **Strukturen** werden **Konturen**,
aus **Konturen** werden **Knoten**,
aus **Knoten** werden **Elemente**.

Den Knoten und Elementen des fertigen FE-Netzes werden **Attribute** zugewiesen.

2.5.1 Strukturen

Strukturdaten sind Punkte, Linien und Polygone, die neben ihrer geometrischen Lageinformation auch Dateninformationen (Attribute, **Beschreibung der Datenarten** auf Seite **41**) tragen können. Man unterscheidet zwischen:

- Punkt-Strukturen (nulldimensionale Geometrie)
- Linien-Strukturen (eindimensionale Geometrie)
- Flächen-Strukturen (zweidimensionale Geometrie)

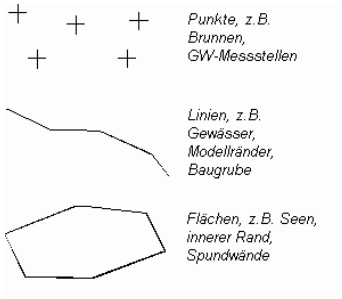


Abb. 3: Struktur-Typen

Mit diesen Struktur-Typen und der Zuordnung der entsprechenden Informationen können alle für ein Grundwassermodell notwendigen Daten beschrieben werden, wie zum Beispiel:

- Punkt-Strukturen:
  Koordinaten von Förder- oder Schluckbrunnen
  Koordinaten von Grundwassermessstellen mit Grundwasserhöhen

- Linien-Strukturen:
  Polygonzüge des Verlaufs von Vorflutern mit Vorfluthöhen oder Leakagekoeffizienten oder Ex-/Infiltrationsmengen
  Baugrubenumschließung (Spund- oder Dichtwände)
  Gräben, Tunnel, Schifffahrtskanäle
  Kanalisations- und Dränagesysteme
- Flächen-Strukturen:
  Flächen unterschiedlicher Grundwasserneubildung
  Flächen unterschiedlicher Bodenkennwerte oder hydraulischer Parameter
  Stehende Gewässer (Seen oder Teiche) mit und ohne Überlauf
  Sickerbecken mit Versickerungsmenge

Die Strukturen ( ) können am Bildschirm direkt erstellt (z.B. auf Grundlage einer topografischen Karte) oder aus vorhandenen ASCII-Dateien (z.B. *.txt, *.csv, ARC/INFO-Generate-Format oder *.dxf) importiert werden. Das Strukturmenü bietet zudem umfangreiche Modifikationsmöglichkeiten.

2.5.2 Konturen

Die Konturen ( ) definieren alle geometrischen Zwangspunkte und -linien, die bei der Erstellung eines FE-Netzes notwendig sind. Diese sind z.B.:

- der Umriss des zu modellierenden Gebietes,
- die im Gebiet benötigten Geometrieinformationen, wie z.B.
  der Verlauf von Vorflutern,
  die Lage von Seen und
  die genaue Lage von Brunnen.

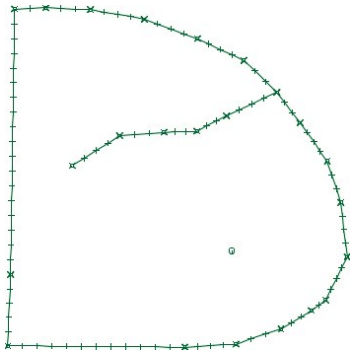


Abb. 4: Konturen eines Modells

Diese Zwangspunkte und -linien müssen als Netzknoten oder Elementkanten in dem späteren FE-Netz beinhaltet sein und werden in der Kontur zusammengefasst.

Basis für die Kontur bilden in der Regel die Strukturen, die notwendige geometrische Zwangspunkte bei der Netzgenerierung sind. Die benötigten Komponenten können hierzu durch einfaches Auswählen aus den Strukturdaten übernommen werden (*Kontur → Neu → aus Struktur*).

Grundsätzlich wird zwischen

- l-Konturen,
- k-Konturen und
- p-Konturen

unterschieden.

l-Konturen sind Konturstrecken, an denen später Elementkanten liegen sollen.

k-Konturen sind Strecken wie l-Konturen, werden aber für die Generierung von 1D-Kluftelementen verwendet. Sie werden mit dem Programm KLUFTI generiert und enthalten neben den bei l-Konturen vorgesehenen Generierungsparametern auch die Mächtigkeit und Öffnungsweite der 1D-Klüfte. Außerdem werden k-Konturen bei der Randknotengenerierung gesondert behandelt.

p-Konturen sind Konturpunkte, auf denen später Netzknoten liegen sollen.

Die Konturen müssen mit Parametern für die weitere Netzgenerierung versehen werden (z.B. Brunnenparameter für die exponentielle Knotengenerierung um Brunnenknoten, maximale Abstände oder Teilungspunkte bei langen Streckenkonturen). Hierzu bietet das Kontur-Menü umfangreiche Möglichkeiten zur Bearbeitung und Modifikation an.

2.5.3 Knoten

Wenn alle Konturen angepasst sind, werden die Knoten generiert. Im Allgemeinen empfiehlt sich eine Knotenerzeugung in der folgenden Reihenfolge:

- Erzeugung von Knoten auf den Konturen und normal zu den Konturen mit 1-2 Schritten des Randknotengenerators,

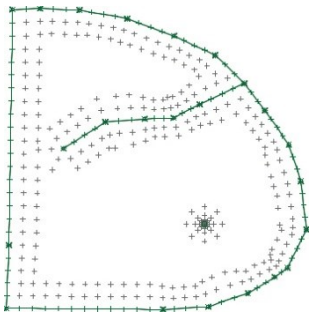


Abb. 5: Randknotengenerator

- Erzeugung von Knotenrastern in Bereichen ohne Konturen,

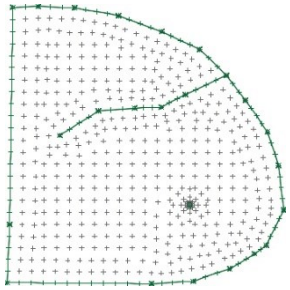


Abb. 6: Rasterknotengenerator

- Erzeugung weiterer Knoten von Hand in den Übergangsbereichen.

Das manuelle Verschieben und Löschen von Knoten optimiert die Knotenverteilung.

2.5.4 Elemente

Ist die Knotengenerierung bereichsweise oder global abgeschlossen, so können diese Knoten (bereichsweise oder global) durch Elemente vernetzt werden. Der in SPRING verwendete *Triangulationsalgorithmus* (advancing front) vernetzt die Knoten dabei zuerst unter Berücksichtigung aller Konturen mit Dreiecken. Danach werden (sofern Drei- und Vierecke generiert werden sollen) geeignete Dreiecke zu Vierecken zusammengefasst, um die Zahl der Elemente und damit Rechen- und Speicheraufwand zu reduzieren.

Nach der Elementerstellung gibt es mitunter Bereiche, in denen erst durch die Vernetzung der Knoten eine ungünstige Netzstruktur erkennbar wird. Diese Bereiche können durch lokale Netzbearbeitung (Bereichsweise Löschen und Neugenerieren von Knoten und Elementen, Zusammenlegen von Knoten oder Teilen von Vierecken) nachbearbeitet werden. Hierzu bietet das Netz-Menü von SPRING verschiedenen Möglichkeiten zur Bearbeitung der Netzgeometrie.

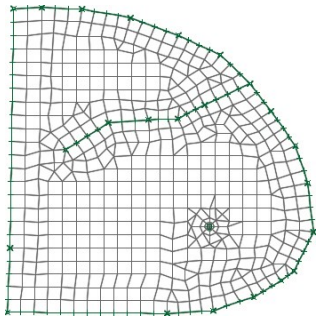


Abb. 7: Fertiges FE-Netz

Ist die Netzgeometrie abgeschlossen, muss diese vor Belegung der Knoten und Elemente mit Attributen mit Hilfe der Geometriekontrollen auf mögliche Fehler kontrolliert werden.

2.5.5 Attribute

Attribute beinhalten alle über die Lage hinausgehende Dateninformation wie Materialdaten, Randbedingungen und Hilfsdaten.

Ist die Erzeugung der Netzgeometrie abgeschlossen und kontrolliert, können den Knoten und Elementen Attribute zugewiesen werden. Anhand der Strukturdaten gibt es zwei Möglichkeiten der Datenzuweisung:

- Direkte Zuweisung: Knoten oder Elementmittelpunkte, die dem Strukturpunkt mit der Dateninformation ausreichend nah sind, bekommen dessen Wert zugewiesen.
- Zuweisung durch Interpolation: Anhand der „vereinzelt“ liegenden Strukturdatenpunkte werden für die dazwischen liegenden Knoten oder Elementmittelpunkte der entsprechenden Struktur Werte interpoliert.

Beispiel:

Die Struktur eines Vorfluters hat nur an den Pegelmessstellen Angaben über den Wasserstand. Zwischen diesen Datenpunkten liegen beliebig viele weitere Knoten ohne Wasserstandangaben. Über eine *Zuweisung durch Interpolation* werden diesen Knoten linear interpolierte Werte zugewiesen.

Neben der Zuweisung über Strukturen lassen sich Attribute auch direkt oder stochastisch einzeln oder bereichsweise den Knoten oder Elementen zuweisen.

Alle möglichen Attribute sind im Kapitel “Beschreibung der Datenarten“ auf Seite **41** aufgeführt.

Der Aufbau eines horizontalen Grundwassermodells ist im Kapitel „Aufbau eines 2D-Modells“ auf Seite **189** ausführlich beschrieben.

2.5.6 Berechnungsmodule

SPRING verwendet für die verschiedenen Berechnungen folgende Programmmodule:

- Modul für die Modellprüfung: DADIA
- Modul für die Kalibrierung: EICHEN
- Modul für die Interpolation: INTERPOL
- Modul der stationären Strömungsberechnung: GEONEU
- Modul für die instationäre Strömungsberechnung: INSTAT
- Modul für die stationäre/instationäre Strömungs- und/oder Wärme- oder Stofftransportberechnung, sowie Modul für die inverse Kalibrierung: SITRA
- Modul für die Ploterstellung: PLOGEO
- Modul für den Datenexport: NACHLAUF

Die Berechnungsmodule der Strömungsberechnung werden in der SPRING Benutzeroberfläche unter dem Menüpunkt *Berechnung* gestartet und in dem gleichnamigen Kapitel „Berechnungen“ auf Seite **240** ausführlich beschrieben.

2.6 SPRING Benutzeroberfläche

Die SPRING 4 Benutzeroberfläche besteht im Wesentlichen aus 5 Bereichen – Menüleiste, Symbolleisten, Hauptfenster, Statusleiste und Projektmanager. Der Funktionsumfang aller Bereiche ist dabei abhängig vom jeweils geöffneten Projekttyp. Wenn Befehle in einem Menü, in einer Ansicht oder an einer bestimmten Stelle im Projekt nicht zur Verfügung stehen, werden diese ausgegraut und deaktiviert oder nicht dargestellt.

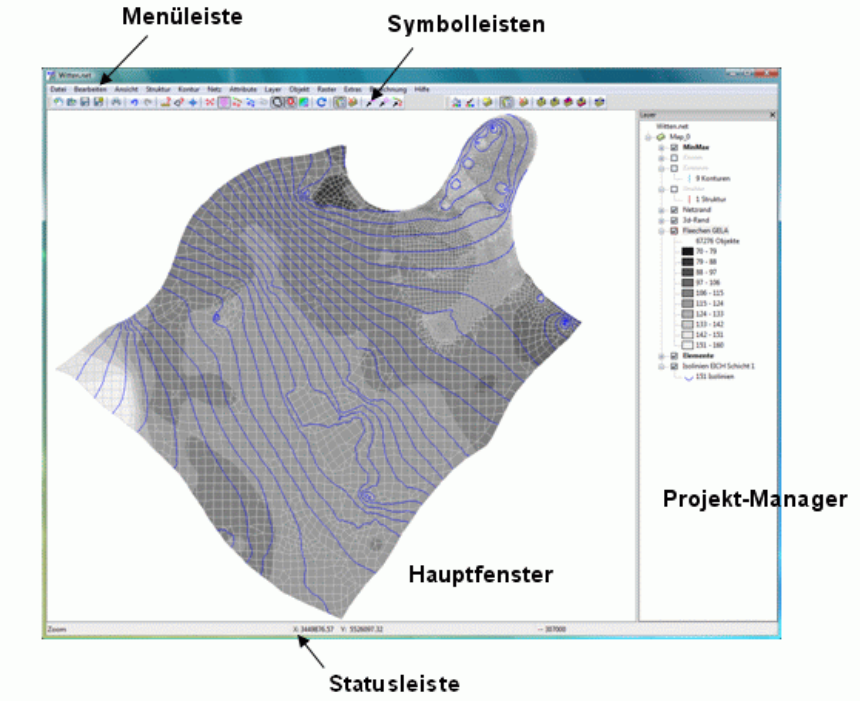
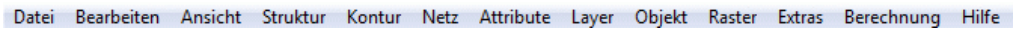


Abb. 8: Benutzeroberfläche von SPRING

2.6.1 Menüleiste

Die Menüleiste ermöglicht den Zugriff auf die meisten SPRING Features:



Bei Auswahl einiger Menübefehle erscheint ein Untermenü mit einer Liste zusätzlicher Optionen. Solche Menübefehle weisen rechts neben dem Befehlsnamen einen nach rechts weisenden Pfeil auf.

Bei einigen Menübefehlen wird ein Dialogfeld aufgerufen, in dem Sie weitere Informationen eingeben müssen, damit der Befehl ausgeführt werden kann. Diese Befehle sind durch drei Auslassungspunkte (...) nach dem Namen des Befehls gekennzeichnet.

Einige Menübefehle können direkt durch Drücken eines speziellen Tastenkürzels oder einer Tastenkombination (STRG+TASTE) aufgerufen werden. Bei Befehlen, denen ein Tastenkürzel zugewiesen wurde, wird rechts vom Befehl das Tastenkürzel oder die Tastenkombination angezeigt. So können Sie z.B. die letzte Aktion rückgängig machen mit der Tastenkombination STRG+Z und den letzten Menübefehl wiederholen durch Drücken von F12.

Menüleiste:

- **Datei** Das Datei-Menü auf Seite **81** dient zum Öffnen/Speichern/Beenden von Projekten, zum Daten Im-/Export, zur An-/Überlagerung von Plots, zur Ploterstellung oder zum Drucken.
- **Bearbeiten** Das Bearbeiten-Menü auf Seite **83** dient zum Wiederherstellen/Rückgängigmachen von Bearbeitungsschritten, zur Projektbearbeitung sowie zum Aufrufen der Programmoptionen.
- **Ansicht** Das Ansicht-Menü auf Seite **97** dient zum Ein-/Ausblenden von Layern/Symbolleisten/3D-Darstellungen sowie zum Anfertigen von Vertikalschnitten.
- **Struktur** Das Struktur-Menü auf Seite **111** dient zur Erstellung und Bearbeitung der Strukturdaten, z.B., Einlesen digitaler Daten auf einer Linienstruktur.
- **Kontur** Das Kontur-Menü auf Seite **125** dient zur Bearbeitung der Konturelemente.
- **Netz** Das Netz-Menü auf Seite **130** dient zur Netzerstellung und –bearbeitung, z.B. Netzgenerator.

- **Attribute** Das Attribute-Menü auf Seite **142** dient zur Bearbeitung der Datenattribute, z.B., Kopieren oder Verrechnen von Datenarten.
- **Karte** Das Karte-Menü auf Seite **166** dient zur Verwaltung von überlagerten Graphik-Dateien.
- **Layer** Das Layer-Menü auf Seite **169** dient zur Verwaltung der graphischen Layer.
- **Objekt** Das Objekt-Menü auf Seite **171** dient zur Bearbeitung von Graphikobjekten, z.B., Duplizieren oder Verschieben einzelner Objekte.
- **Raster** Das Raster-Menü auf Seite **175** dient der Bearbeitung oder dem Speichern von Graphik-Dateien, z.B. Tiff-Dateien.
- **Extras** Das Extras-Menü auf Seite **177** dient dem Zugriff auf spezielle Programmfunktionen für Gewässernetze, instationäre Programmparameter, Klüfte oder Tunnel.
- **Berechnung** Über das Berechnungsmenü auf Seite **186** werden die Berechnungswerkzeuge von SPRING gestartet.
- **Hilfe** Das Hilfe-Menü auf Seite **187** dient dem Zugriff auf die Programmhilfe und dem Starten von Updates.

2.6.2 Symbolleisten

Die Symbolleisten (siehe Abbildung) enthalten Schaltflächen zum schnellen Zugriff auf die wichtigsten Menübefehle. Der Name des Befehls wird angezeigt, wenn der Mauszeiger über der Schaltfläche steht.

Die Symbolleisten-Schaltflächen sind in Gruppen angeordnet. Im Dialogfeld *Ansicht → Symbolleisten* kann eingestellt werden, welche Symbolleistengruppen angezeigt werden sollen. Diese Einstellungen gelten für die aktuelle Ansicht und werden beim Beenden des Programms gesichert. Die Symbolleistengruppen können auch an eine andere Stelle der graphischen Benutzeroberfläche gezogen werden, indem an der linken Seite der Symbolleiste der Ziehpunkt angeklickt wird und bei gedrückter linker Maustaste an die gewünschte Stelle verschoben wird. Wenn die Symbolleiste im zentralen Bereich des Applikationsfensters abgelegt wird, wird diese abgedockt und frei schwebend angezeigt; wenn die Symbolleiste an den Rand des Applikationsfensters abgelegt wird, wird die Symbolleiste an der Stelle angedockt. Hier ist ein Beispiel für die Symbolleiste "Standard":

Die weiteren Symbolleisten sind im Kapitel „SPRING-Menüs – Ansicht – Symbolleisten“ auf Seite **105** dargestellt.

2.6.3 Statusleiste

Die dreigeteilte Statusleiste befindet sich am unteren Rand des Applikationsfensters (siehe Abbildung). In ihr werden die folgenden Informationen angezeigt: (links) aktueller Eingabemodus, (Mitte) Welt-Koordinaten des Mauszeigers, (rechts) Informationen über Menübefehle und Befehlsschaltflächen in den Symbolleisten, wenn der Cursor darüber platziert wird.

2.6.4 Hauptfenster

Das Hauptfenster dient zur Erstellung, Bearbeitung und Visualisierung von Element-Netzen und Plots und ist das Kernstück von SPRING.

2.6.5 Projektmanager

Der Projektmanager wird gestartet über *Ansicht → Weitere Fenster → Projektmanager* oder über das entsprechende Symbol ( ) in der Symbolleiste. Er visualisiert die Anordnung der geöffneten Karten/Layer des aktiven Projektes und deren Legenden und ermöglicht durch Drag&Drop eine leichte Manipulation der Karten/Layer-Anordnung.

Ein Projekt ist eine Sammlung von Karten, Layern, Objekten und anderen Ressourcen, die miteinander auf eine festgelegte Art (Baumstruktur) in Zusammenhang stehen. Diese können in ihrer jeweiligen Ebene bis zu einer beliebigen Anzahl hinzugefügt werden. Eine Ausnahme bildet der Netzbearbeitungsmodus, in welchem nur eine Karte zulässig ist.

In der Abbildung unten enthält z.B. ein Projekt namens Witten.net die Karte Map_0, welche ihrerseits in verschiedene Layer, z.B. Netzrand, Markierungen oder Elemente untergliedert ist. Der Layer Flächen GELA (Geländeoberfläche) ist aufgeklappt und zeigt die Legende der im Hauptfenster dargestellten Isoflächen.

Im Projektmanager ist immer nur ein Projekt geöffnet. Wenn ein neues Projekt erstellt oder ein bestehendes geöffnet wird, wird das Projekt, das gerade im Projektfenster geöffnet ist, durch das neue ersetzt.

Nachdem an einem Projekt Änderungen vorgenommen wurden, muss das Projekt (durch Auswahl des Befehls *Datei → Speichern* oder Symbol) gespeichert werden.

Die Befehle für Karten/Layer stehen in der Menüleiste unter den gleichnamigen Einträgen zur Verfügung. Einige Funktionen stellt der Projektmanager in Kontextmenüs (Aufruf mittels Rechtsklick) auf dem jeweiligen Eintrag bereit (siehe Abbildung).

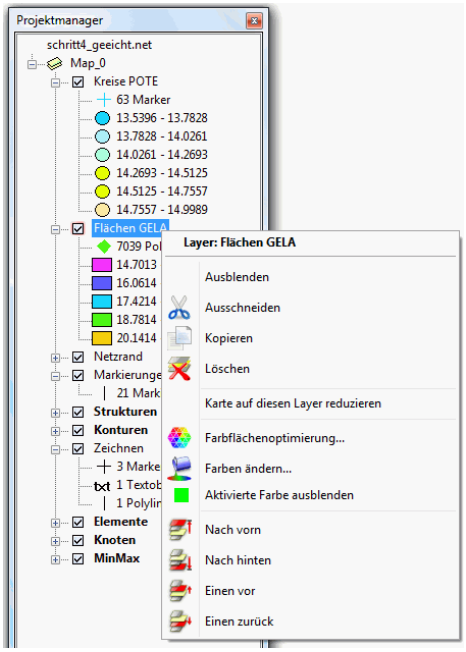


Abb. 9: Projektmanager im Modus Modelldatei

Im Projektmanager können Karten/Layer an eine andere Stelle gezogen werden (Drag&Drop). Ein Layer kann in eine andere Karte gezogen werden, nicht aber in einen anderen Layer verschoben werden. Durch Drücken der „Entf"-Taste lässt sich ein ausgewähltes Layer löschen.

Karten und Layer sind "semantische Ordner", die eine logische Dateigruppierung darstellen und nicht der hierarchischen Organisation von Dateien auf Ihrer Festplatte entsprechen müssen.

Layer können physischen Dateien (z.B. Tiffkarten) in Ihrem Dateisystem entsprechen und eine direkte Beziehung zu diesen haben. Solche Layer werden im Projektfenster mit Pfadangabe dargestellt.

Im Modus Plotdatei ist es möglich, auch die Objekte der einzelnen Layer gruppenweise zu bearbeiten (rechte Maustaste). Es können z.B. alle Polylinien eines Layers gleichzeitig gelöscht werden, oder allen Polylinien werden die in den Objekteigenschaften voreingestellten Werte zugewiesen.

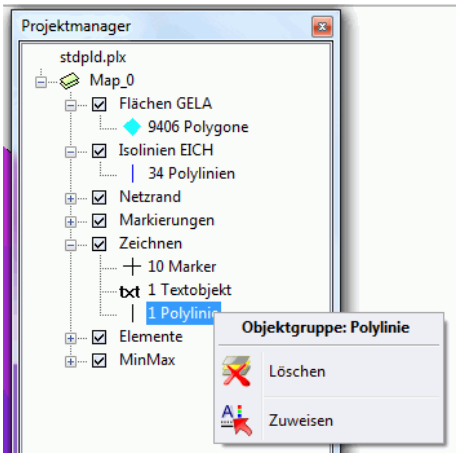


Abb. 10: Projektmanager im Modus Plotdatei

2.6.6 Projektinformationen

Das Projektinformationsfenster gibt einen Überblick über die wichtigsten Projekteigenschaften:

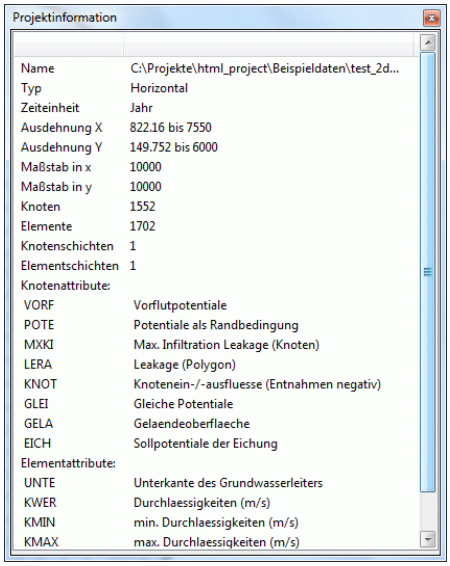
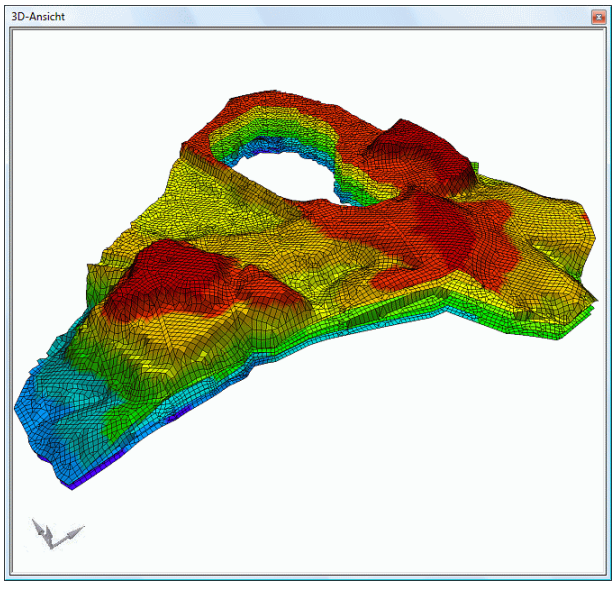


Abb. 11: Projektinformationsfenster

2.6.7 3D-Ansicht

Die 3D-Ansicht stellt das im Netzbearbeitungsmodus geöffnete Elementnetz dreidimensional dar.
Navigation:

- **Zoom** Mausrad
- **Drehung** Linke Maustaste + Mausbewegung in x oder y Richtung
- **Verschiebung** Mittlere Maustaste + Mausbewegung in x oder y Richtung
- **z-Skalierung** Strg + Mausrad
- **Reset** Mittlere Maustaste



Die Darstellung lässt sich durch die Buttons der Symbolleiste im Hauptfenster (unten) verändern.

Das Elementnetz, die Elementflächen, die 1D-Klüfte, das 2D-Kluftnetz oder die 2D-Kluftflächen können ein- oder ausgeblendet werden. Die aktuelle 3D-Ansicht kann als Rastergrafik exportiert werden.

2.6.8 Vertikalschnitt

Das Vertikalschnitt-Fenster stellt im Netzbearbeitungsmodus einen zwischen zwei selektierten Punkten geradlinig verlaufenden Vertikalschnitt durch das Modell dar.

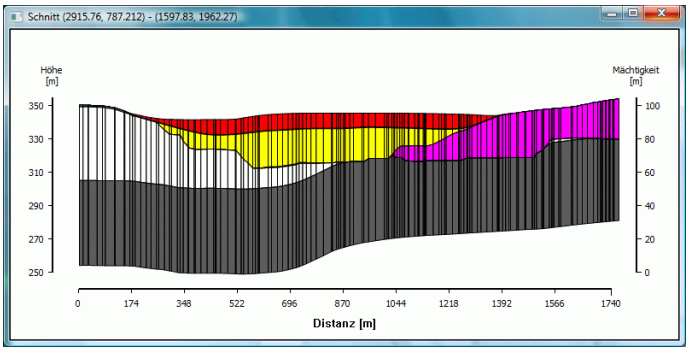


Abb. 12: Vertikalschnitt

2.6.9 Einstellungen

Sie können SPRING 4 mittels verschiedener Einstellungen und Optionen konfigurieren. Im Kapitel *SPRING-Menüs → Bearbeiten → Optionen* auf Seite **85** sind die möglichen Einstellungen detailliert beschrieben.

2.7 Neue Funktionen

Neben der neu entwickelten graphischen Benutzeroberfläche gibt es Änderungen in den einzelnen Menüpunkten sowie diverse Zusatzfunktionen, die die Arbeit mit SPRING sehr komfortabel machen. Die wichtigsten Änderungen sind in den folgenden Kapiteln beschrieben.

2.7.1 Neu entwickelte graphische Benutzeroberfläche

Die neu entwickelte graphische Benutzeroberfläche hat folgende Vorteile:

- Volle Unterstützung von Microsoft Windows 7
- Native Unterstützung von 64-Bit Prozessoren (Windows 64/Linux x64)
- OpenGL-Unterstützung für 3D-Darstellung
- Multilanguage-Support
- Internet-Update
- Unabhängig von Display-Managern

Neben den allgemeinen Vorteilen der programmtechnischen Änderungen hat die neue Benutzeroberfläche von SPRING folgendes zu bieten:

- Zusammenführung von Netz- und Plot-Bearbeitung in eine gemeinsame Oberfläche

  Das neue SPRING präsentiert sich mit einer komplett neu entwickelten Oberfläche. Das Zusammenführen von Netz- und Plot-Bearbeitung erlaubt kurze Einarbeitungszeiten und intuitive Arbeitsabläufe.
- „Intelligente Menüs“

  Die zur Verfügung stehenden Menüpunkte passen sich durch kontextsensitives Aktivieren/Deaktivieren dem jeweiligen Bearbeitungsstand an.

  Dialoge werden mit „gültigen“ Extremwerten vorbelegt. Fehlerhafte Eingaben werden, wenn möglich, automatisch korrigiert.
- Transparente Programmfenster

  Auf Wunsch lassen sich Programmfenster transparent darstellen und erlauben so auch bei geöffneten Dialogen einen Blick auf das Projekt. Dabei stellt der Anwender den Grad der Durchsichtigkeit selbst ein.
- Dockbare Dialogfenster und Symbolleisten

  Das individuelle Andocken von Dialogfenstern und Symbolleisten erlaubt die Anpassung der Benutzeroberfläche an die jeweilige Arbeitsaufgabe. Um den Arbeitsbereich übersichtlich zu halten, können nicht benötigte Symbolleisten ausgeblendet werden. Die Anordnung bleibt auch nach Beendigung von SPRING erhalten und wird nach erneutem Programmstart wiederhergestellt.
- Komfortable Mausfunktionen

  Zoomen mittels Mausrad sowie Verschieben des Projekts über die mittlere Maustaste.
- Gepufferte Darstellung

  Durch eine Pufferung in den Framebuffer des Grafikkartenspeichers wird die Darstellung beschleunigt und Bildschirmflackern vermieden.
- Echtes WYSIWYG

  Das geöffnete Dokument wird nun während der Bearbeitung genau so dargestellt wie es bei der Ausgabe auf einen Drucker oder in eine Grafik-Datei aussieht.
- Koordinatenanzeige in Statusleiste

  Permanente Darstellung der Welt-Koordinaten des Mauszeigers in der Statusleiste.
- Zuschaltbarer Maßstabsbalken

  Der adaptive Maßstabsbalken ermöglicht einfache Größenvergleiche während der Bearbeitung über alle Zoomstufen hinweg.
- Bookmarks für Zoombereiche

  Zoombereiche lassen sich während der Sitzung zur schnellen Rückkehr speichern.
- Drag&Drop ins Programmfenster

  Alle in SPRING überlagerbaren Dateien (z.B. Netzdateien/Plots/Rastergrafiken/csv-Dateien) lassen sich per Drag&Drop ins Programmfenster ziehen und werden dort der unter dem Cursor befindlichen Karte überlagert.
- Dateihistorie

Ermöglicht den schnellen Zugriff auf die zuletzt geöffneten Dokumente.

- Undo/Redo für zahlreiche Aktionen

  Eine Vielzahl der Eingaben lässt sich in SPRING zurückzunehmen bzw. wiederherstellen. Je nach Komplexität der Aktion findet sich keine Undo-Möglichkeit oder ein nur einstufiges Undo bis hin zur Rücknahme sämtlicher Arbeitsschritte.
- Shortcuts

  Shortcuts für ausgewählte Programmfunktionen.
- Projektinformationsfenster

  Visualisiert die wichtigsten Projektparameter auf einen Blick.
- Projektmanager

  Stellt die Karten-/Layerstruktur des geöffneten Dokuments in einer Baumstruktur übersichtlich dar und erlaubt deren einfache Bearbeitung. Intuitives Drag&Drop erlaubt die Anpassung der Reihenfolge. Kontextmenüs (Rechtsklick) ermöglichen den schnellen Zugriff auf die wichtigsten Bearbeitungsaktionen (z.B. kopieren/löschen). Durch Aufklappen können gegebenenfalls weitere Informationen eingeblendet werden (z.B. Legenden).
- 3D-Ansicht/Vertikalschnitt im Netzbearbeitungsmodus

  Während der Netzbearbeitung stehen dem Nutzer die 3D-Ansicht sowie beliebig positionierbare Vertikalschnitte zur Verfügung, um mögliche Netz-Fehler schnell zu erkennen.
- 2D/3D Kluft-Visualisierung

  Klüfte können sowohl in der 2D-Draufsicht als auch in der 3D-Ansicht dargestellt werden.
- 2. Grafiksystem mit Unterstützung von Antialiasing und Transparenzeffekten

2.7.2 Neuerungen in den einzelnen Menü-Punkten

Datei

- Import von Teilnetzen

  Das Einkoppeln von Teilnetzen in ein Gesamtnetz ermöglicht eine Computerressourcen sparende Bearbeitung von sehr großen Netzen sowie einfache Variantenbetrachtungen.
- Direkter Rastergrafik-Export

  Die aktuelle Darstellung im Programmfenster kann zu jedem beliebigen Zeitpunkt als Rastergrafik (TIFF/JPEG) gespeichert werden.
- Drucken

  Das Drucken ist zu jedem beliebigen Zeitpunkt möglich, nicht nur im Plot-Modus
- Schnittstelle zu Tecplot

  Ausgewählte oder alle Modell- und Ergebnisdaten können zur Visualisierung in das Tecplot-Format exportiert werden.
- Projekt modifizieren

  Es entfällt das Schließen des Netzes.
- Datei überlagern

  DXF-/SHP-Files können nun auch im Netzbearbeitungsmodus überlagert werden.
- Datei anlagern

  Dateien können im Plot-Modus nun auch links bzw. unten angelagert werden.

Strukturen

- Umfangreich parametrisierbarer Import von dxf-/shp- Dateien

  Strukturen können schon vor dem Import aus dem dxf- oder shp-Format umfangreich parametrisiert und gegebenenfalls ausgeschlossen werden.
- Intuitive Strukturliste

  Die neue Strukturliste wurde für sehr große Strukturanzahlen (z.B. nach dxf-Import) optimiert und bietet dem Nutzer umfangreiche Sortierungsmöglichkeiten.
- Optimierte Auswahlwerkzeuge

  Die Auswahlwerkzeuge wurden verbessert und erlauben neben einem Deselektieren durch erneute Auswahl eine Invertierung des selektierten Bereichs.
- Schnelles Erzeugen spezieller Strukturgeometrien

  Parallelen zu vorhandenen Strukturen können durch Angabe von Abstand und Wahl der Bezugsrichtung erzeugt werden, wie sie beispielsweise zur Integration von Dichtwänden benötigt werden.

Kreisstrukturen können durch einfache Parametrisierung erzeugt werden.

Automatisches Erstellen einer Struktur aus dem Netzrand und der Geländeoberfläche (Attribut GELA)

- Strukturvergröberung im Bereich
- Export von Strukturen
- Struktur für Vorfluter
- Bei der Auswahl der Ansicht von Strukturen kann nach Art der Struktur (Linie, Punkt oder Fläche) ausgewählte werden, ohne über eine Liste arbeiten zu müssen
- Neue Funktion: „Strukturtexte einblenden“
- Neue Funktion: „Richtungspfeile“ sowie deren Darstellungsgröße (Richtungspfeile vergrößern/Richtungspfeile verkleinern) sind neu

Konturen

- Kluft-Konturen

  Kluft-Konturen (k-Konturen) können nun direkt in SPRING erzeugt und parametrisiert werden.

Netz

- Unterstützung für „Triangle“ Netzgenerator

  SPRING bietet die Möglichkeit, Elementnetze mit dem externen Netzgenerator Triangle (von Jonathan Richard Shewchuk) zu generieren. Aus lizenzrechtlichen Gründen wird dieser als Externes Binary und mit Quelltext ausgeliefert.
- Netzverfeinerung im Bereich von Strukturen

  Elementnetze können in SPRING auch im Bereich von Strukturen verfeinert werden.
- Funktionserweiterung 3D-Schicht teilen

  Die Funktion „Schicht teilen“ kann nun auch auf mehrere Schichten oder auf alle Schichten gleichzeitig angewendet werden.

  Zusätzlich können nun auch Schichten bei einem vorgegebenen Höhenwert geteilt werden.

Attribute

- Automatische Korrektur von Schichtüberschneidungen:

  Knotenschichten können nun auf Überschneidungen geprüft und ggfls. automatisch zusammengelegt (von oben nach unten oder entgegengesetzt) werden.
- „Nearest Neighbour“ Interpolationsmethode

  SPRING wurde um das „Nearest Neighbour“-Interpolationsverfahren erweitert. Jeder Knoten bzw. jedes Element bekommt dabei den Wert des ihm nächsten Nachbarn zugewiesen. Das Verfahren führt zu "stufigem" Aussehen des Endergebnisses. Der Algorithmus ist aufgrund seiner Einfachheit extrem schnell und spielt seine Vorteile vor allem bei der Zuweisung von sehr hoch aufgelösten digitalen Geländemodellen aus.
- Erweiterte Importmöglichkeiten

  SPRING bietet die Möglichkeit, Berechnungsergebnisse aus noch laufenden/abgebrochenen Rechenläufen zu importieren. Somit können schon während der Berechnung Fehler erkannt und minimiert werden. Ergänzend dazu lassen sich nun auch Modelldatensätze aus den Hintergrunddateien importieren.
- Export von Attributen im Strukturformat

  Attribute lassen sich zur einfachen Weiterverarbeitung im Strukturformat koordinatenbezogen exportieren.
- Visualisierung zugewiesener Ganglinien

  Importierte Ganglinien lassen sich während der Bearbeitung komfortabel als Diagramm einblenden.

Objekt

- Ab sofort können Objekte auch im Netzbearbeitungsmodus bearbeitet werden.

Extras

Einige dem Nutzer zur Verfügung stehende Werkzeuge sind zwar funktionstüchtig, besitzen derzeit jedoch teils noch „experimentellen“ Charakter.

- Fließrichtungsbezogene Gewässervernetzung

  Automatische Erkennung und Gruppierung (Inzidenz) von vernetzten Gewässern.

Assistenz-Funktionen zur Prüfung und Anpassung der Rohdaten hinsichtlich der Fließrichtung.

Bilanzierung der Austauschmengen zwischen Gewässer und Grundwasser unter Berücksichtigung des Dargebots.

Definition von Zugabe- (Klärwerk) und Entnahme-Mengen (Wasserwerk) an Gewässerknoten.

Ableitung der Gewässerspiegelhöhen durch einfache Parametrisierung der Gewässereigenschaften.

- Verbessertes Handling instationärer Randbedingungen
- Einfache Integration von Klüften/Tunneln in Elementnetze

  SPRING bietet Werkzeuge zur einfachen Integration von Zwangsgeometrien wie Tunnelbauwerke in dreidimensionale Elementnetze unter Berücksichtigung von Gelände-Einschnitten und geologischer Schichtung. Somit können Fehler beim Einbau von Klüften bzw. Tunnelbauwerken minimiert werden.

Berechnung

- Komplett neu gestaltete Oberfläche der Berechnungsmodule
- Zusammenfassung der Berechnungsbausteine

  Die Berechnungsbausteine wurden zusammengefasst, so dass vom Anwender zunächst die Entscheidung getroffen werden muss, welche Art von Berechnung (Stofftransport, dichteabhängig, Wärme…) durchgeführt werden soll. Die abstrakten Namen (SITRA, GEONEU,…) sind in den einzelnen Dialogen integriert.
- Interpolation mit Kriging-Verfahren

  Verbesserung der graphischen Aufbereitung bei der interaktiven Erstellung eines Variogramms.

Ploterstellung

- Trennung der Plotmöglichkeiten
- Weitere Darstellungsart „Punkte“
- Plot von Ganglinien mit mehr dialogbasierten Einstellungen
- Darstellung von Messdaten als Balken seit SPRING 4 dialogbasiert möglich
- Keine Beschränkung der zu plottenden Mess-/Verrechnungsdatensätze

Datenexport

- Trennung der einzelnen Möglichkeiten zum Datenexport
- Dialogbasierter Datenexport im TECPLOT-Format

Sonstiges

- Neues Hilfesystem

  Die neue Programmhilfe wurde im Microsoft CHM (Compiled HTML) – Format erstellt und erlaubt eine komfortable Nutzung mit Inhaltsverzeichnis, Index aus Schlüsselworten und Volltext-Suchfunktion.
- Zentraler Optionsdialog

  Der neue Optionsdialog erlaubt die Konfiguration aller SPRING-Einstellungen inklusive dialogbasierter Zusammenstellung von Farbpaletten.
- Import von Farbpaletten im Golden Software Surfer – Format

  Farbpaletten können im Golden Software Surfer Color Scale – Format importiert werden. „Fehlende“ Farbwerte werden dabei automatisch interpoliert.

2.7.3 Neuerungen in den Berechnungsbausteinen

Strömung

- Ausgabe relativer Permeabilitäten

  Die berechneten relativen Permeabilitäten können als Ergebnisdaten gelesen werden.
- Variable Speichertermberechnung

  Wahlweise Berechnung des Speicherterms über van Genuchten Parameter oder Porosität bei teilgesättigter Berechnung
- Vorgabe der Genauigkeiten (Residuum und Iterationsdifferenz) bei der Verwendung des iterativen Gleichungslösers ist nun auch in GEONEU möglich.

Abbau und Produktion

- Halbwertszeiten

  Berechnung des radioaktiven oder biologischen Abbaus über die Halbwertszeit.

- Zeltfunktion

  Bei vorgenommener Zonierung der Stoffparameter kann als 4. Ansatzfunktion zusätzlich eine Zeltfunktion für die Abbau- bzw. Produktionsrate eingegeben werden, die nach Erreichen eines Maximums wieder abfällt, bis die obere Grenze erreicht ist. Danach wird der Abbau bzw. die Produktion auf 0 gesetzt.

2.8 Hilfe

Die vollständige Dokumentation der aktuellen SPRING-Version steht in der Hilfe zur Verfügung. Es handelt sich um ein browserbasiertes System, auf das über *Hilfe → Handbuch* zugegriffen werden kann. Die Hilfethemen werden in der Regel mit dem Update der Software aktualisiert, sodass immer die aktuellsten Informationen zur Verfügung stehen.

Wichtig: Die Onlinehilfe umfasst alle Informationen aus den gedruckten Benutzerhandbüchern sowie zusätzliche Informationen, die nicht in gedruckter Form vorliegen. Eine komplette, druckbare PDF-Version des Handbuchs befindet sich auf der Produkt-CD bzw. DVD. **Im Downloadbereich der Website spring.delta-h.de befindet sich stets die aktuellste Version des Handbuches.**

2.9 Support

Wenn Sie einen Wartungsvertrag abgeschlossen haben, können Sie bei Fragen zur Installation und im Fall von Produktfehlern den persönlichen Telefon-Support in Anspruch nehmen. Weitere Informationen und Kontaktadressen finden Sie im Support-Bereich der delta h Website:

www.delta-h.de

Tel.: 02302-91406-0

email: dh@delta-h.de

Der Support-Bereich der delta h Website enthält außerdem Informationen zur Fehlerbehebung und ermöglicht den Zugriff auf die Support-Datenbank, Listen der häufigsten Fragen (FAQ) und zahlreiche weitere Informationsquellen. Informationen über Lehrgänge/Tagungen zu delta h Produkten finden Sie ebenfalls auf der Website.

3 Datenstruktur des Grundwassermodells

Dieses Kapitel beschreibt den Dateiaufbau und die Datenarten, die die Basis eines Grundwassermodells darstellen.

3.1 Aufbau der Modelldateien

Die Modelldaten für ein Grundwassermodell befinden sich in der Modelldatei *name.net* und - bei einem 3D-Modell - in der ergänzenden Datei *name.3d*. In der *.net-Datei sind alle Informationen für ein 2D-Modell enthalten. Bei einem 3D-Modell befinden sich in der Datei name.net die Daten der obersten Schicht. Die Informationen über die tieferen Schichten sind in der *.3d-Datei enthalten.

Die Netzdateien werden in der Regel interaktiv in der SPRING-Oberfläche erstellt bzw. verändert. Da es sich um ASCII-Dateien handelt, können sie auch mit einem beliebigen Editor bearbeitet werden.

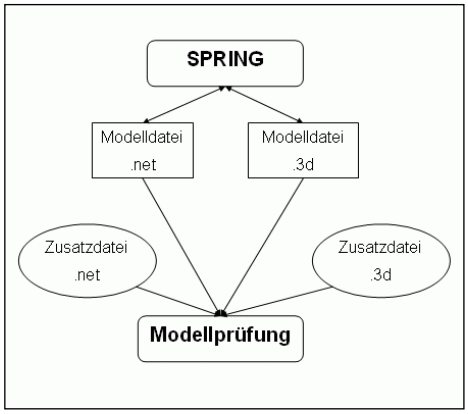


Abb. 13: Dateiverarbeitung in SPRING

Der inhaltliche Aufbau der formatierten Dateien ist im folgenden Kapitel beschrieben.

3.1.1 Aufbau der Modelldatei *.net

Drei Kommentarzeilen eröffnen die Datei, anschließend folgt eine Leerzeile. Es folgt die Eingabe für die Zeiteinheit (+ Leerzeile), danach die Modellart (+ Leerzeile) und der Maßstab (+ Leerzeile). Nach den Knoten- und Elementinzidenzen werden die verschiedenen Datenarten in beliebiger Reihenfolge angegeben. Die einzelnen Datenarten sind jeweils zu einem Datenpaket zusammengefasst. Jedes Paket besteht aus einer Datenkennungszeile, den Daten und einer abschließenden Leerzeile. Es dürfen sonst keine Leerzeilen in einem Paket vorkommen. Für jede Datenart wird eine Datenkennung (Groß oder Kleinschrift) angegeben, die in die ersten vier Spalten der Datenkennungszeile eingetragen werden muss. Eine zulässige Kennung besteht aus einer Kombination von 4 Buchstaben oder Zahlen (Unterstrich ist ebenfalls erlaubt). Diese Datenkennung kann (zu Kommentarzwecken) über die gesamte Zeile verlängert werden (siehe Beispiel).

Die nachfolgende Grafik zeigt den Aufbau einer Netzdatei:

Beispiel für eine Netzdatei (Horizontalmodell)

```
   1.Zeile   Kommentarzeile
   2.Zeile   Kommentarzeile
   3.Zeile   Kommentarzeile
   4.Zeile   Leerzeile bzw. INUMx
   5.Zeile   ZEITeinheit
   6.Zeile   Leerzeile
   7.Zeile   HORIzontalmodell
   8.Zeile   Leerzeile
   9.Zeile   MASSstab
  10.Zeile   ... (Massstabsdaten)
  11.Zeile   Leerzeile
  12.Zeile   KOORdinaten (Datenkennungszeile)
  13.Zeile   ... (Daten)
             ...
             Leerzeile
             ELEMente (Datenkennungszeile)
             ... (Daten)
             ...
             Leerzeile
             TRANsmissivitaeten (Datenkennungszeile)
             ... (Daten)
             ...
             Leerzeile
             POTEntiale (Datenkennungszeile)
             ... (Daten)
             Leerzeile
```

Abb. 14: Beispiel für den Aufbau einer Netzdatei

3.1.2 Aufbau der 3D-Datei *.3d

Hier sind keine Kommentarzeilen vorgesehen. Sofern das *3D-Nummernoffset* verändert werden soll, muss dies als erstes (gefolgt von einer Leerzeile) geschehen. Dann muss der *Rand des 3D-Gebietes* definiert werden. Nach einer Leerzeile folgen entweder die *Angabe der Teilungen* oder die *Angabe der z-Koordinaten* (die

durch Angabe der Teilungsdatenart ohne Eingabewerte formal abgeschlossen wird). Die weiteren Eingaben folgen in beliebiger Reihenfolge.

3.1.3 Formatbeschreibung der Modell- und 3D-Datei

Sowohl die geometrischen Datenarten (Knoten- und Elementinzidenzen) als auch alle Attribute werden während der Modellerstellung in SPRING in der *.net – und der *.3d –Datei abgespeichert. Die Knoten- und Elementinzidenzen sollte der Anwender NICHT manuell editieren, da dies zu erheblichen Fehlern im FE-Netz führen kann.

Sollte es dennoch einmal nötig sein, die Attribute in der Modelldatei manuell zu editieren, gilt für fast alle Attribute das folgende Standardformat:

Spalte 1 – 14: Wertzuweisung durch folgende mögliche Formate:

- Max. 14-stellige Realzahl als Gleitpunktzahl, z.B. “14.99“ oder “-1.234“
- E-Format: z.B. “1.e-7“ oder “-2.5e+10“

Die Wertangaben müssen immer einen Punkt als Dezimalzeichen besitzen.

Spalte 15 – 16: Sonderzeichen:

- Bei einigen Attributen gibt es die Möglichkeit, in Spalte 15 oder 16 ein Sonderzeichen zu setzen (z.B. F, /, *), welches die Verarbeitung der Werte beeinflusst. Diese Zeichen werden bei den einzelnen Datenarten erläutert.

Spalte 17 – 79:

- Knoten- oder Elementnummern im Format I6, nach der Nummer folgt ein Komma oder ein Bindestrich für eine Nummernfolge von …. bis.
- Die Element- bzw. Knotennummern werden im FORTRAN-Format **I6** eingegeben, solange keine Nummer > 1 Million ist. Um größere Nummern zu verwalten, muss in der vierten Zeile der *.net Datei das Schlüsselwort *INUM* mit angehängter Dezimalstelle angegeben werden. **INUM**-Werte kleiner als sechs werden ignoriert. Die im Folgenden angegebenen festen Formate ändern sich dann von **I6** auf **I***NUM.*

Spalte 80:

- Falls sich die Wertzuweisung einer Datenart über mehr als eine Zeile erstreckt, kann in Spalte 80 ein “+“ gesetzt werden, welches die Zeilen miteinander verbindet.

Jeder Attributblock wird mit einer Leerzeile abgeschlossen.

Zwischen die einzelnen Datenpakete können auch Kommentarzeilen eingefügt werden. Diese beginnen mit einem 'C' und drei Blanks ('C___'). Kommentarzeilen werden in der Modellprüfung überlesen.

Einige Datenarten (z.B. Flutungs- oder van Genuchten Parameter) werden in einem besonderen Format abgespeichert. Da dies in SPRING automatisch geschieht, muss sich der Anwender in der Regel nicht damit auseinander setzen.

3.1.4 Zusatzdateien

Jede der beiden Netzdateien kann während der „Modellprüfung“ auf Seite **241** durch die Angabe einer Zusatzdatei ergänzt werden oder in SPRING über *Datei → Importieren → zusätzliche .net-Date*i direkt eingelesen werden. In diesen Zusatzdateien können beliebig viele Daten stehen, die so behandelt werden, als ob sie sich in den Netzdateien befinden. Bei eventuell doppelt vorhandenen Angaben (z.B. ein Knoten mit zwei Entnahmemengen) überschreibt der letzte Wert die vorherige Angabe.

Mit den Zusatzdateien kann man bei verschiedenen Modellversionen Speicherplatz sparen. Alle sich nicht ändernden Informationen (z.B. Netzdaten, Durchlässigkeiten, usw.) können in der Modelldatei stehen. Für verschiedene Simulationen können z.B. die Entnahmemengen und die Randbedingungen in Zusatzdateien vorgehalten werden.

Die Zusatzdateien haben exakt den gleichen Aufbau wie die entsprechende “Hauptdatei“ (*.net oder *.3d).

Achtung! Beim Öffnen des Modells in SPRING werden nur die Modelldateien, nicht die Zusatzdateien geladen! Diese müssen, wie oben beschrieben, explizit eingelesen werden oder im Rahmen der Modellprüfung angegeben werden.

3.1.5 Dimensionierungsdatei *.dim

Sobald ein Modell erstellt und zum ersten Mal abgespeichert wurde, erstellt SPRING automatisch eine Dimensionierungsdatei *name.dim*.

Die Dimensionierung wird "pseudovariable" durchgeführt. Das heißt, es wird eine festgelegte maximale Knoten- und Elementanzahl vordefiniert. Je größer diese Anzahl ist, desto länger dauern die notwendigen Initialisierungsroutinen in der Modellprüfung, auch wenn das konkret geladene Projekt nur einen Bruchteil der vordefinierten maximalen Knoten- und Elementanzahl benötigt.

Eine geschickte Dimensionierung reduziert den Rechenaufwand während der Modellprüfung. Ist die gewählte Dimensionierung zu klein, kann die entsprechende Dimensionierungsgröße in der Dimensionierungsdatei mit einem einfachen Texteditor geändert werden.

Beispiel:

```
IDIM1     270000  = IDIM2
IDIM2     270000  größte Knoten-/Elementnummer
IDIM3     100000  max. Anzahl Randknoten, Klüfte und Einzeldaten
IDIM4     100000  max. Anzahl MATE,MARK,KTXT,ETXT
IDIM5         14  max. Anzahl 3d-Schichten
IDIM6    5110000  Hilfsfeld, 3d: ca. idim1 * 51 , 2d: ca. idim1 * 20
```

Bedeutung der Dimensionierungsgrößen:

Feld	Bedeutung
IDIM1	maximale Anzahl Knoten/Elemente
IDIM2	größte mögliche Knoten/Elementnummer
IDIM3	maximale Anzahl Randknoten, Klüfte und Einzeldaten (wie z.B. Potentiale (POTE), Knotenein-/ausflüsse (KNOT), Konzentrationen (1KON), ...)
IDIM4	maximale Anzahl Materialdaten (MATE), Markierungen (MARK), Knoten- oder Elementtexte (KTXT, ETXT)
IDIM5	maximale Anzahl 3D-Schichten
IDIM6	Hilfsfeld für die Optimierung (für 3D-Modell ca. IDIM1 * 51 , für ein 2D-Modell ca. IDIM1 * 20)

3.1.6 Aufbau und Format der Strukturdatendatei

In der Strukturdatendatei werden Daten (geometrische oder Attribute) mit ihren zugehörigen Rechts- und Hochwerten (bzw. X- und Y-Koordinaten) abgelegt. Erst durch Zuweisen dieser Daten während der Modellerstellung in SPRING werden diese Daten Elementen oder Knoten zugeordnet.

Die Strukturdatendatei hat die Bezeichnung “name.str“. Sie beginnt mit 3 Titelzeilen mit beliebigem Text, gefolgt von einer Leerzeile und beliebig vielen Strukturdatensätzen. Im Verlauf der Modellerstellung in SPRING werden später auch die Konturdatenblöcke in der projekteigenen *.str-Datei abgelegt. Da dies automatisch geschieht, sollten die Konturdaten vom Anwender NICHT manuell editiert werden.

Beispiel:

```
Projekt XY
Strukturdatei Stand: 01.01.2010
SPRING Version 4.0

DATA | l | @ 3 1 0 @ Modellrand
     1  607.2647 1460.3211
     2  257.1429 1220.7641
     3  259.4463  718.6157
     . . .

FLAE | f | @ 7 2 0 @ versiegelter Bereich
     1  402.2591 1172.3920   0.0000
```

```
     2  393.0454  813.0565
     . . .

VORF | l | @ 2 1 0 @ Bach
     1  922.8350 1285.2602
     2  904.4075 1197.7298  22.0100
     3  913.6213 1100.9851
     . . .
```

Die Strukturdaten sind durch Leerzeilen getrennt. Ein Strukturdatensatz besteht aus einer Headerzeile gefolgt von beliebig vielen Datenzeilen.

Die Headerzeile hat das Format:

```
KENN | x | @ Darstellungsattribute @ Infotext
```

Darin bedeutet:

- **KENN** (4 Zeichen) ist die Kennung der Struktur, die für späteres Zuweisen der Strukturdaten auf Netzknoten bzw. Elemente benötigt wird. Bei Strukturen ist neben den üblichen Modellattributen auch die Kennung "DATA" für reine Geometrie- oder Hilfsstrukturen vorgesehen.
- **| x |** (1 Zeichen) ist der Strukturdaten-Typ:
  p -> Punkt-Struktur
  l -> Linien-Struktur
  f -> Flächen-Struktur
- Zwischen den beiden '@' stehen die Darstellungsattribute der Struktur, die die Unterscheidung der Strukturen im Grafikfenster von SPRING z.B. durch unterschiedliche Farben oder Markertypen erleichtern. Dies sind:
  bei Punkt-Strukturen (p):
  Stiftnummer, Markertyp und Markerhöhe (in Pixel),
  bei Linien-Strukturen (l):
  Stiftnummer, Linientyp und Flag für die Markierung der Linienpunkte,
  bei Flächen-Strukturen (f):
  Stiftnummer, Linientyp und Flag für die Darstellung als gefülltes Polygon.

Die Darstellungsattribute können auch (einschließlich der beiden '@') weggelassen werden. In diesem Fall verwendet SPRING voreingestellte Darstellungsattribute für die Struktur.

Der Infotext dient als Beschreibung der Struktur und ermöglicht eine Identifizierung der Struktur in einer Listenauswahl.

Die Datenzeilen haben das Format:

```
Nr.,  X,  Y,  Z
I6,F10,F10,F10
```

Das bedeutet:

- 6 Stellen für eine laufende Nummerierung der Daten. Eine eventuell andere Nummerierung wird durch SPRING immer durch eine laufende Nummerierung ersetzt. Es können auch 6 Leerzeichen sein.
- 10 Stellen für die X-Koordinate des Datenpunktes,
- 10 Stellen für die Y-Koordinate des Datenpunktes und
- 10 Stellen für einen Z-Wert des Datenpunktes, der beim Zuweisen der Struktur auf die Datenkennung der Struktur ausgewertet wird. Der Z-Wert kann auch fehlen.

Neben der projekteigenen Strukturdatendatei können in SPRING über *Struktur → Importieren…* auch Strukturdaten aus anderen *.str-Dateien eingelesen werden.

Die Bedeutung der einzelnen Kennungen wird in der Datei xsusi.kenn definiert. Diese ist im Anhang (S. 461) detailliert beschrieben.

3.1.6.1 Format der Strukturdatendatei (ASCII)

Während der Modellerstellung oder in den Berechnungsmodulen kommt es an verschiedenen Stellen vor, dass eine Datei im Strukturdatenformat (ASCII) eingelesen werden soll. Diese Datei unterscheidet sich inso-

fern von der “klassischen“ Strukturdatendatei, als dass sie weder drei Kommentarzeilen noch die Attributkennungen enthält! Allein das Format der Datenzeilen entspricht dem der Strukturdatendatei!

Die Datenzeilen haben das Format (vgl. Kapitel Aufbau und Format der Strukturdatendatei“

```
Nr.,  X,  Y,  Z
I6,F10,F10,F10
```

3.1.7 Initialisierungsdatei plogeo.ini

Einige Standard-Parameter der Ploterstellung können über eine Initialisierungsdatei verändert werden. Die Datei heißt plogeo.ini und liegt im Verzeichnis:

"C:\Users\Public\Documents\SPRING\Konfig" (Windows 7 oder Windows Vista). Dieser Pfad variiert je nach Betriebssystem oder Festplattenpartitionierung (z.B. unter Windows XP: "C:\Documents and Settings\All Users\Documents\SPRING\Konfig").

Ist dort keine Datei dieses Namens vorhanden, werden die Voreinstellungen benutzt.

Die Initialisierungsdatei wird zeilenweise bis zum Ende gelesen. Pro Zeile kann ein Parameter verändert werden. Dabei bezeichnen die ersten 4 Zeichen einer Zeile (Großbuchstaben!) den jeweiligen plogeo.ini-Befehl. Der danach folgende Zahlenwert beschreibt entweder Höhe [in cm oder mm] oder es ist ein Flag (0 oder 1), der eine bestimmte Darstellungsart oder Ausführung zur Folge hat.

Die plogeo.ini-Befehle werden über den Menüpunkt Optionen im Bearbeiten-Menü der SPRING-Benutzer-Oberfläche definiert. Durch Speichern dieses Menüs werden die gewählten Einstellungen in die Datei plogeo.ini übernommen.

Beispiel für eine plogeo.ini-Datei:

```
HLEG 0.15
HISO 0.18
HWER 0.13
FLAE 1
TEXT 1
TIME 1
```

Alle möglichen Initialisierungsparameter werden im Kapitel “SPRING-Menüs – Bearbeiten-Menü – Optionen – Plotoptionen“ auf Seite **90** ausführlich beschrieben.

3.1.8 Initialisierungsdatei spring.opt

Eine Reihe von Standardvoreinstellungen für die Darstellung innerhalb der SPRING-Benutzeroberfläche ist in einer Optionsdatei mit dem Namen "spring.opt" gespeichert. Diese steht im Verzeichnis:

"C:\Users\Public\Documents\SPRING\Konfig" (Windows 7 oder Windows Vista). Dieser Pfad variiert je nach Betriebssystem oder Festplattenpartitionierung (z.B. unter Windows XP: "C:\Documents and Settings\All Users\Documents\SPRING\Konfig").

Sie wird über den Menüpunkt *Optionen* im Bearbeiten-Menü der SPRING-Benutzeroberfläche editiert. Sie umfasst für jede Option eine Zeile, die den Optionsnamen, gefolgt von einem Doppelpunkt enthält. Es folgen mindestens ein Trennzeichen (Leerzeichen oder Tab) und der gewünschte Optionswert. Die Reihenfolge der Optionen in der Datei ist beliebig. Sollte eine Option mehrfach auftreten, so wird der letzte Eintrag benutzt. Jede Zeile wird interpretiert, Kommentarzeilen werden durch ein "#" als erstes Zeichen gekennzeichnet, beim Verändern der Optionen über das Optionsmenü unter *SPRING → Bearbeiten → Optionen* allerdings nicht mitgespeichert!

Beim Programmstart von SPRING wird die Datei gelesen und die Einstellungen werden entsprechend übernommen.

Alle möglichen Initialisierungsparameter werden im Kapitel “SPRING-Menüs – Bearbeiten-Menü – Optionen“ auf Seite **85** ausführlich beschrieben.

3.1.9 Batch-Dateien

Die Batch-Dateien sind ASCII-Dateien, mit denen die einzelnen Berechnungsbausteine manuell gesteuert werden. Sie enthalten die für die Berechnung notwendigen Steuerparameter und Vorgaben. Ihr Aufbau ist jeweils im Kapitel des Berechnungsmoduls beschrieben. Beispiele zu den unterschiedlichen Batch-Dateien stehen auf unserer Homepage zum Download bereit.

3.1.9.1 Erstellen von Batch-Jobs

Um einen automatischen Ablauf von Arbeitsschritten der SPRING-Module durchzuführen, können alle Mainprocessing-Bausteine mit einem Parameter gestartet werden, der das Betätigen der <return>-Taste unterdrückt. Insbesondere bei längerer Abwesenheit des Bearbeiters z.B. über Nacht oder am Wochenende können so diverse Berechnungen automatisch nacheinander erfolgen.

Der Start eines SPRING-Mainprocessing-Bausteins muss mit dem Zusatz *-return* gestartet werden. Der Start des Berechnungsmoduls SITRA hat z.B. die Form:

sitra -return sitra.bsi

Die Durchführung von zwei Job-Folgen Modellprüfung (DADIA) – Strömungsberechnung (SITRA) – Datenexport (NACHLAUF) – Ploterstellung (PLOGEO) in den MS Windows-Verzeichnissen "D:\Projekte\Schlaraffenland\Sim01" und "Sim02" sieht dann folgendermaßen aus:

```
D:\
cd \Projekte\Schlaraffenland\Sim01
dadia -return dadia.bda
sitra -return sitra.bsi
nachlauf -return gang.bna
plogeo -return flur.bpl
cd \Projekte\Schlaraffenland\Sim02
dadia -return dadia.bda
sitra -return sitra.bsi
nachlauf -return gang.bna
plogeo -return flur.bpl
```

Diese Kommandozeilen werden in einer Datei im ASCII-Format mit der Endung *.bat gespeichert. Nach Aufruf der Eingabeaufforderung (DOS-Shell) wird der Dateiname eingegeben und mit <return> bestätigt.

Dieses Vorgehen funktioniert ebenfalls in entsprechender Weise in einem Terminal auf UNIX-basierten Betriebssystemen.

3.1.10 Aufbau der sitr-Datei

In der sitr-Datei werden alle stoffspezifischen Parameter, Abbruchschranken, Skalierungsfaktoren von Knoten- und Elementwerten sowie Angaben zum Gleichungslöser gespeichert, die über das Eingabefenster des Berechnungsmoduls festgelegt werden. Die Datei wird automatisch bei Aufruf des Berechnungsmoduls SITRA (oder INSTAT) im aktuellen Arbeitsverzeichnis erstellt. Sie enthält zunächst die zum Modelltyp passenden Voreinstellungen. Nach Editieren der Parameter über den Eingabedialog, Speichern der Batch-Datei über den Button (Datei speichern als…) oder Starten der Berechnung mit *OK* werden die geänderten Parameter in die sitr-Datei übernommen. Aufgrund des komplexen formatierten Aufbaus der sitr-Datei ist es nicht empfehlenswert, die Datei mittels eines Text-Editors zu bearbeiten.

3.1.11 Gewässersystem-Quervernetzung mit Datei sitra_vsys.txt

In SPRING ist eine Quervernetzung von Gewässersystemen möglich. Standardmäßig erfolgt eine automatische Aufteilung in gleiche Mengenanteile in Fließrichtung des Gewässers (Aufteilung 50:50). Soll die Aufteilung der Wassermengen benutzerdefiniert erfolgen, lassen sich die entsprechenden Anteile in der Datei sitra_vsys.txt definieren. Die Mengen können prozentual verteilt werden, oder es wird eine maximale Übergabemenge definiert.

Die Datei hat folgenden Aufbau:

```
################################################
#   A-Bach -> Umlaufgraben A-Bach   #
################################################
#
# CROSSLINK SOURCE_NODE TARGET_NODE PERCENT VALUE
# Uebergabe 25% des Abflusses von Knoten 208 an Knoten 2856
# Rest an andere Aeste von Knoten 208
CROSSLINK 208 2856 PERCENT 25.0
#
```

```
#####################################
#   B-Bach -> B-Entlastungsgraben   #
#####################################
#
# CROSSLINK SOURCE_NODE TARGET_NODE QMAX VALUE
# Uebergabe von max. 17500.0 m3/ZE von Knoten 7713 an 7712
# Rest an andere Aeste von Knoten 7713 gleichmaessig aufteilen
#
#vorher Menge mal abgeschaetzt mit 188269.0
CROSSLINK 7713 7712 QMAX 17500.0
```

Die Zeilen beginnend mit # sind Kommentarzeilen. Die Angabe:

```
CROSSLINK 208 2856 PERCENT 25.0
```

bedeutet, dass 25% des Knotens 208 an den Knoten 2856 abgegeben werden. Die restlichen 75% werden auf andere am Knoten 208 vorhandenen Verzweigungen abgegeben.

Die Angabe:

```
CROSSLINK 7713 7712 QMAX 17500.0
```

bedeutet, dass der Knoten 7713 maximal eine Wassermenge von 17500 m³/ZE an den Knoten 7712 abgibt. Die restliche vorhandene Menge wird gleichmäßig auf die übrigen am Knoten 7713 vorhandenen Verzweigungsknoten verteilt.

Sobald die Datei im Arbeitsverzeichnis des entsprechenden Projektes vorhanden ist, wird sie automatisch bei der Strömungsberechnung mit dem Modul SITRA (stationär oder instationär) eingelesen.

3.1.12 Instationäre Eingabedatei

Bei instationären Rechnungen muss eine zusätzliche Datei angelegt werden. In dieser Datei werden die Randbedingungen erfasst, die sich im Laufe der instationären Rechnung ändern. Außerdem kann diese Datei zur Definition der Zeitschritte der instationären Rechnung herangezogen werden. Die instationären Eingabedatei wird von dem instationären Rechenmodul selbst gelesen und nicht von der Modellprüfung. Da hierbei keine genaue Datenkontrolle möglich ist, müssen alle Werte sorgfältig überprüft werden.

3.1.12.1 Aufbau der instationären Eingabedatei

Die instationäre Eingabedatei hat folgenden Aufbau:

Nach den allgemeinen Daten (Kommentar, Zeiteinheiten) erfolgt die Eingabe eines Zeitpunktes. Alle darauf folgenden Daten beziehen sich auf diesen Zeitpunkt, bis die Angabe eines neuen Zeitpunktes erfolgt. Jede Datenart wird wie bei der Modelldatei durch eine Leerzeile abgeschlossen. Das Eingabeformat für die Werte ist 5(I6, F10.2). Alle Zeitpunkte müssen in aufsteigender Reihenfolge sortiert eingegeben werden. Das Dateiende bilden drei Leerzeilen.

Zeile 1-3: *Leerzeilen für Kommentare oder Projektbeschreibung*. Die ersten zwei Zeilen dieses beliebigen Kommentars werden bei den Ganglinienplots als Überschrift verwendet.

Zeile 4: Leerzeile

Zeile 5: *Zeiteinheit für die Mengen*: Der entsprechende Text muss ab der 18. Spalte linksbündig nach der Datenkennung 'ZEITEINHEIT MENG ' eingegeben werden. Als Zeiteinheiten stehen SEKUNDE, TAG_, MONAT und JAHR zur Verfügung. Alle Mengenangaben unter den Datenarten KNOT (Quellen und Senken) und FLAE (Flächenversickerung) müssen in dieser Zeiteinheit angegeben werden.

Zeile 6: *Zeiteinheit für die Zeitschritte:* Hier wird die Zeiteinheit festgelegt, in der die Zeitpunkte angegeben werden. Es gibt prinzipiell zwei Möglichkeiten:

Angabe einer Zeiteinheit: Nach der Datenkennung 'ZEITEINHEIT ZEIT ' wird ab der 18. Spalte eine der Zeiteinheiten SEKUNDE, MINUTE, STUNDE, TAG_, MONAT oder JAHR angegeben. Die Angabe der Zeitpunkte erfolgt dann über die Datenart ZEIT und einer Realzahl.

Angabe eines Bezugsdatums: Nach der Datenkennung 'BEZUGSDATUM ' wird ab der 13. Spalte ein Datum in der Form 'TT.MM.JJJJ' (Tag, Monat, Jahr, mit den Punkten) angegeben. Auf dieses Datum bezieht sich der Anfangszustand. Die Angabe der Zeitpunkte erfolgt dann über die Datenart DATUM und eines konkreten Datums. Intern wird in der Zeiteinheit Tag gerechnet wobei die Umrechnung kalendergetreu erfolgt (mit Schaltjahr!).

Zeile 7: Leerzeile

Zeilen 8+9: *Angabe eines Zeitpunktes*: Je nach Eingabe in Zeile 6 gibt es zwei Möglichkeiten, die Zeitpunkte zu definieren:

Bei der Angabe mit ZEITEINHEIT erfolgt auch die Zeitpunkteingabe mit der Datenart ZEIT. In der folgenden Zeile wird eine Realzahl (F10.2) für die gewählte Zeiteinheit angegeben. Beispiel:

```
ZEIT (Time)
2.5
```

Bei einer gewählten ZEITEINHEIT SEKUNDEN bezieht sich die Angabe “2.5“ auf den Zeitpunkt 2.5 Sekunden nach dem Anfangszustand.

Bei der Angabe eines Datums erfolgt die Zeitpunkteingabe mit der Datenart DATUM. In der folgenden Zeile wird das konkrete Datum für den angegebenen Zeitpunkt eingegeben. Beispiel:

```
DATUM
02.04.2010
```

Zeile 10: Leerzeile

Zeile 11: *Datenart mit Werten*:

Zeilen 12ff: Nach der Datenkennungszeile (Zeile 11) werden die Werte im einheitlichen Format 5(I6, F10.2) angegeben, d.h. in einer Zeile können bis zu fünf Wertepaare 'Knoten- bzw. Elementnummer und Wert' eingegeben werden ('Lücken' sind erlaubt aber keine Leerzeilen). Eine Eingabe in der Form von ... bis ... wie beim Einlesealgorithmus der Modelldateien ist nicht möglich.

Jede Datenart wird mit einer Leerzeile abgeschlossen.

Es können nun zu dem gleichen Zeitpunkt weitere Datenarten in beliebiger Reihenfolge angegeben werden (jeweils durch eine Leerzeile getrennt), oder es wiederholt sich der Aufbau ab Zeile 8 mit der Angabe des nächsten Zeitpunktes. Es können auch Zeitpunkte ohne Angabe von neuen Werten für irgendeine Datenart festgelegt werden.

Achtung: Wenn Knotennummern mehr als sechs Stellen besitzen, kann in der 7. Zeile der Datei durch den Eintrag **NUM 7** der Formatschreiber für die Knotennummern auf 7 Stellen geändert werden. Dann können die Werte in einer Zeile mit dem Format 5(I7, F10.2) angegeben werden.

3.1.12.2 Instationäre Eingabedatei aus instationären Strukturen erstellen

Während des Modellaufbaus werden in der Regel auch die instationär zu betrachtenden Randbedingungen wie z.B. Gewässer und Entnahmebrunnen bereits als Strukturen erstellt (l- und p-Strukturen). Sollen diese Strukturen mit instationären Daten belegt werden, ist folgendermaßen vorzugehen:

- Kopieren der vorhandenen Struktur: *Struktur → Kopieren → Auswah*,
- Umwandeln der gewünschten Struktur in eine instationäre Struktur: *Struktur → Umwandeln → Zu instationärer Struktur …*

Wenn man über *Struktur → bearbeiten* die Liste der Strukturen aufruft, erkennt man die umgewandelten Strukturen an dem vorangestellten “g“ (= Ganglinie) in der Typ-Spalte.

Nun müssen den umgewandelten Strukturen die instationären Daten zugeordnet werden.

Die instationären Daten müssen im csv-Format, S. **119**, in der folgenden Form vorliegen:

- Komma als Spaltentrennzeichen
- Punkt als Dezimaltrenner.
- Die Zeitpunkte des Typs Datum müssen im Format TT.MM.JJJJ angegeben werden.
- Die Zeitpunkte des Typs Zeit müssen im Format F10.2 angegeben werden.

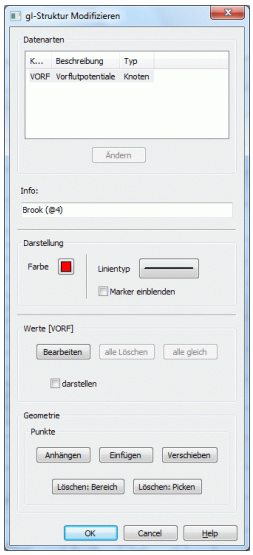
Die csv-Datei für eine instationäre Entnahme mit Vorgabe eines Datums kann beispielsweise folgendermaßen aussehen:

```
Date,Well_1,Well_2,Well_3,
02.01.2004,-998640,-254040,-201480,
10.01.2004,-1585560,-455520,-438000,
17.01.2004,-1226400,-306600,-245280,
22.01.2004,-1024920,-271560,-210240,
```

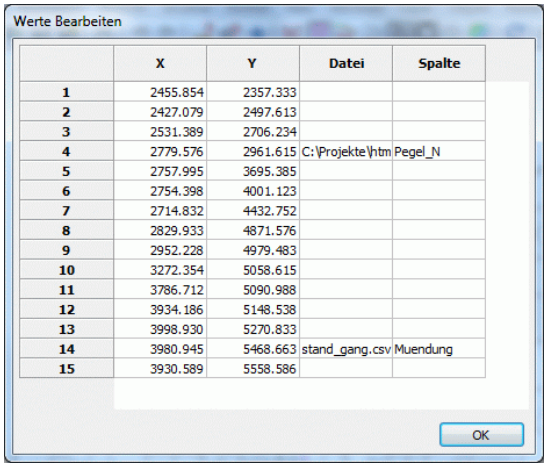
Die erste Zeile beinhaltet die Überschriften in der Reihenfolge: Datum, Name der Messpunkte (z.B. Brunnen 1, 2, 3, usw.).

Die zweite und alle folgenden Zeilen enthalten den Zeitpunkt und die zugehörigen Werte der einzelnen Messpunkte.

Die Zuordnung der Daten geschieht dann im Menü *Struktur → Bearbeiten → Liste* und Auswahl der entsprechenden Struktur. Es erscheint folgendes Eingabefenster:



Nach Anklicken des Buttons „Werte“ erscheint eine Tabelle, in der den entsprechenden Strukturpunkten die Datei und die Spalte der instationären Daten zugeordnet werden:



Die Dateien und der Name der jeweiligen Spalte können einzeln, durch Mehrfachmarkierungen oder global durch Auswahl der Spalte zugewiesen werden:

Nach Anklicken einzelner oder mehrerer Zellen mit der linken Maustaste und gleichzeitigem Drücken der Tasten "SHIFT" oder "STRG" und anschließendem Klicken der rechten Maustaste öffnet sich ein Dateiauswahlfenster bzw. ein Dialogfenster, in dem die Datei bzw. der Name der zugehörigen Spalte für die markierten Zellen festgelegt wird. Durch Bestätigen mit "OK" werden die Angaben zugewiesen, jedoch nur, wenn eine Datei UND eine Spalte festgelegt sind. Fehlt eine Angabe, werden an dem betroffenen Strukturpunkt KEINE Daten zugewiesen. Diese Kontrolle wird auch beim Speichern des Projekts durchgeführt.

Letztendlich müssen die instationären Strukturen zugewiesen werden. Dies geschieht wie üblich über den Menüpunkt *Struktur → zuweisen → Liste …*

Es erscheint das Zuweisungsmenü, in dem der Zuweisungsabstand und ggf. die Schichten in einem 3D-Modell festgelegt werden.

Nach erfolgreicher Zuweisung kann man die erstellten instationären Daten über *Extras → Instationär → Instationäre Eingabedatei exportieren…* formatgerecht in eine instationäre Datei speichern.

Wenn die csv-Datei als Überschrift der 1. Spalte die Bezeichnung “Zeit“ enthält, ist in der exportierten instationären Eingabedatei in der 6. Zeile nach einem Leerzeichen hinter “ZEIT“ eine Zeiteinheit anzugeben. Zur Auswahl stehen: SEKUNDE, MINUTE, STUNDE, TAG_, MONAT, JAHR.

Die möglichen instationären Daten sind im Kapitel “Instationäre Datenarten“ auf Seite 69 aufgeführt.

3.1.12.3 Instationäre Dateien out66 und null

Bei der instationären Berechnung mit dem Modul SITRA wird nach jedem Rechenlauf eine ASCII-Datei mit dem Namen out66 erzeugt. In dieser Datei stehen in der ersten Zeile diverse Parameter der instationären Rechnung (bei einer stationären Rechnung sind diese Parameter = 0). Es folgen ein Block mit den zuletzt berechneten Potentialen bzw. Druckgrößen (in der Reihenfolge der internen Knotennummerierung) und ein Block mit den zuletzt berechneten Konzentrationen/Temperaturen (sofern eine Transportberechnung durchgeführt wurde). Diese 'abgespeckte' Variante der out66-Datei wird automatisch bei jedem Rechenlauf erzeugt.

Wurde bereits eine instationäre Berechnung durchgeführt und dabei das *“Abspeichern für Fortsetzen (out66)“* der instationären Rechnung ausgewählt, wird eine ausführliche Version der Datei *out66* abgespeichert, die zusätzliche Daten, die zur Fortsetzung einer instationären Rechnung benötigt werden, enthält.

Um die instationäre Berechnung fortzusetzen, muss der Anwender die Datei *out66* in *null* umbenennen.

Ist eine *null*-Datei vorhanden, so bietet das Eingabemenü der instationären Berechnung diese an verschiedenen Stellen an:

- Die Potentiale/Drücke und Konzentrationen bzw. Temperaturen aus der null-Datei können als Startwerte für eine Iteration (gesättigt/ungesättigte Rechnung oder dichteabhängige Rechnung) verwendet werden, oder als Anfangspotentiale / Anfangsdrücke bzw. Anfangskonzentrationen / Anfangstemperaturen für eine instationäre Rechnung ausgewählt werden. Dazu wird lediglich die 'abgespeckte' und in *null* umbenannte Form der *out66*-Datei benötigt.
- Wird eine Fortsetzung der instationären Rechnung mit den Daten der *null*-Datei gewünscht (Warmstart), ist die ausführliche Form der *out66*-Datei (umbenannt in *null*) erforderlich. In dem Fall werden die Zeitschritte folgendermaßen berechnet:

  Hat man im ersten Lauf nmax Zeitschritte berechnet (nmax ist der vorletzte Parameter der 1. Zeile der null-Datei), so werden bei der Fortsetzung der Rechnung die Zeitschritte nmax+1, nmax+2, ...berechnet. Die instationären Zeitpunkte der fortgesetzten Rechnung beginnen dann mit dem zuletzt berechneten Zeitpunkt der Vorlaufrechnung.
- Soll die Fortsetzung der instationären Berechnung mit einer anderen instationären Eingabedatei erfolgen, wird in der 1. Zeile der *null*-Datei der Parameter nmax des vorhergegangenen Berechnungslaufs in '-1' geändert. Dann muss für die Fortsetzung der instationären Rechnung eine neue instationäre Eingabedatei verwendet werden. Der Startzeitpunkt (0.0) der neuen Rechnung entspricht dann dem zuletzt berechneten Zeitpunkt der Vorlaufrechnung, mit der die Warmstartdaten erzeugt wurden. Die instationären Zeitpunkte der neuen Rechnung beginnen also bei 0.0. Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, dass für die Fortsetzung nicht alle Daten für schon berechnete Zeitschritte in der instationären Eingabedatei mitgeschleppt werden müssen

3.1.12.4 Datei mit Sollwerten für Gangliniendarstellung

Soll nach einer instationären Berechnung der Verlauf der Daten über die Zeit dargestellt werden, besteht die Möglichkeit, die berechneten Ganglinien den gemessenen Werten z.B. an einer Grundwassermessstelle gegenüberzustellen (Sollwerte).

Dazu müssen die gemessenen Daten im Format der Sollwerte-Datei vorliegen. Die Datei hat folgenden Aufbau:

```
DATUM    01.01.2014

8    #10235
01.05.2014      20.53
05.05.2014      20.80
12.05.2014      21.95
16.05.2014      20.92

3     #256
01.05.2014      18.17
05.05.2014      19.28
12.05.2014      20.12
16.05.2014      19.32
```

Die Datei beginnt in der Regel mit einem Bezugsdatum. Danach folgt eine Knotennummer. Zu der Knotennummer lässt sich hinter dem Hashtag die Bezeichnung der Grundwassermessstelle zuordnen, die dann im Plot dargestellt wird.

In den folgenden Zeilen stehen dann jeweils das Messdatum und der Messwert (Format F10.2) an diesem Knoten (Pegel oder Grundwassermessstelle).Sind alle Sollwerte zu einem Knoten angegeben, kann nach einer trennenden Leerzeile mit der nächsten Knotennummer und den Sollwerten des Knotens fortgefahren werden.

Statt des Datums kann in der 1. Zeile eine Zeiteinheit entsprechend der instationären Eingabedatei stehen (SEKUNDE, MINUTE, STUNDE, TAG, MONAT, JAHR). Dann steht bei den Sollwerten der Knoten ein Zeitpunkt statt des Datums. Beispiel:

3.1.12.5 Wärmewiedereinleitung

In SPRING ist es möglich, den Prozess einer Wiedereinleitung bei geothermischer Grundwassernutzung abzubilden. Dazu wird eine Eingabedatei erstellt, die durch einen entsprechenden Eintrag in der Batch-Datei während des instationären Wärmetransports berücksichtigt wird. Die Datei hat folgenden Aufbau:

Zeitschritt Entnahmeknoten Wiedereinleitungsknoten Temperaturdifferenz [K]

```
1 2575  2577 4 #
2 2575  2577 4 #
3 2575  2577 4 #
4 2575  2577 4 #
......
```

In der Beispieldatei wird die Wassertemperatur (KONZ) des Entnahmeknotens 2575 um 4°C abgekühlt und am Knoten 2577 wieder eingeleitet.

3.1.13 Aufbau der Zonierungsdateien

Die Zonierungsdateien sind ASCII-Dateien, die grundsätzlich folgenden Aufbau besitzen:

In der ersten Spalte stehen die Nummern der Zonen, die in der Modelldatei den Elementen zugewiesen wurden (Attribute Z-KD, Z-AP). Diesen Zonen werden nun entsprechend ihrer Aufgabe (Adsorption oder Abbau und Produktion) die erforderlichen Parameter zugewiesen:

- z.B. für die Adsorption nach Freundlich:

```
Zonennummer   1. Freundlich-Isotherme   2. Freundlich-Isotherme
 1     0.001     0.001     #Zonennummer CHI1 CHI2
```

- z.B. Abbau und Produktion (Stufen- oder Zeltfunktion):

```
Zonennummer Ber.-Methode  Max  Steigung  untere Grenze   obere Grenze
```

```
      1    1    0    2    10    20 #Zonennummer, Berechnungsmethode, PRODF0, PRODF1, U1PRODF,
U2PRODF
```

mit:

Berechnungsmethode = 1 --> Anwendung der Stufenfunktion, S. **306**

Berechnungsmethode = 2 --> Anwendung der Zeltfunktion, S. **306**

Die einzelnen Parameter sind durch Leerzeichen oder Tabs getrennt, nach einem # können Kommentare stehen.

Existiert noch keine Datei mit zonierten Parametern, lassen sich durch Eingabe eines Dateinamens im entsprechenden Dialogfeld, Anklicken des Buttons "Datei anlegen" ( ) und anschließendem Speichern der Batch-Datei oder Starten der Berechnung die festgelegten Werte in der "Datei für zonierte Parameter" speichern.

Das jeweilige Dialogfeld erscheint nur, wenn die Zonierungsattribute Z-AP (für Abbau und Produktion) bzw. Z-KD (für Adsorption oder Wärme) in der Modelldatei vorhanden sind.

3.1.14 Dateien der inversen Modellierung

Der Aufbau und das Format der Parameter- und Beobachtungsdatei sind im Kapitel "Inverse Modellierung - Umsetzung in SPRING" auf Seite **272** anhand des dortigen Beispiels beschrieben.

3.1.15 Datei mit Mess- oder Interpolationswerten

Dateien, die Mess- oder Interpolationswerte enthalten, müssen im ASCII-Format der Strukturdatendatei, S. 31 vorliegen. Die Datei *DiffEich.txt*, welche Differenzen zwischen gemessenen und berechneten Daten enthält und während der Ploterstellung erstellt wird, liegt ebenfalls in diesem Format vor.

3.1.16 Datei mit auszublendenden Elementen

Es besteht bei einem Plot die Möglichkeit, Daten in gewissen Elementen nicht darzustellen. Der auszublendende Bereich wird in einer separaten ASCII-Datei durch Angabe der entsprechenden Elementnummern definiert. Das Format dieser Datei entspricht dem Eingabeformat der Modelldatei (16x, 9 (I6, A1), A1) beginnend ab der ersten Zeile ohne jede Datenkennung oder Kommentarzeile, wobei der Datenwert beliebig ist oder fehlen kann.

3.1.17 Ergebnisdateien

In SPRING werden die Ergebnisdaten der Berechnungsläufe protokollarisch in die Ausgabedateien (*out.**) geschrieben. Welche Daten im Einzelnen gespeichert werden, ist in den Berechnungsmodulen beschrieben. Diese Daten können weitgehend über den Menüpunkt *Attribute → Modelldaten/Berechnungsergebnisse importieren...* eingelesen und visualisiert werden.

Daneben gibt es weitere Dateien, die Ergebnisse der Berechnungen tabellarisch zur Verfügung stellen. Hierbei handelt es sich um berechnete Daten wie Differenzen zu Messpunkten (stationär oder instationär), Reaktions- und Leakagemengen, Konzentrationen, Wärme- oder Grubenwassermengen. Eine Ausgabe dieser Daten erfolgt in Abhängigkeit des Berechnungsmoduls und nur, wenn bestimmte Attribute in der Modelldatei vorhanden sind. Der Aufbau und Inhalt der Dateien *DiffEich.txt, C<Knoten-Nr.>.txt, reaktion.csv, leakage-BILK/BILE.txt, gruben.csv und fracht.csv* sind im Anhang, Kapitel "Aufbau und Inhalt der Ergebnisdateien" (S. 452) erläutert.

3.1.18 Einheiten

Vordefiniert sind folgende Einheiten:

- Längeneinheiten in [m]
- Flächeneinheiten in [m²]
- Volumeneinheiten in [m³]
- Winkel in Grad [°]

Die übrigen Daten sind folgendermaßen definiert:

- Durchlässigkeitsbeiwerte in [m/s]
- Konzentrationen:

  Bei einer Stofftransportberechnung mit einem Tracer bzw. dichteunabhängiger Strömung ist die Eingabe der Konzentration mit einer "beliebigen" Einheit möglich (z.B. [g/l], [g/g], [mg/l], [kg/kg], etc.) Die Einheit muss in einem Modell für alle Konzentrationsarten gleich sein.

  Bei einer dichteabhängigen Berechnung muss die Konzentration die Einheit [kg (gelöster Stoff)/kg (Lösung)] haben.

  Bei einer Berechnung mit Adsorption muss die Konzentration die Einheit [kg/m³] haben.
- Temperaturen in [°C]
- Dichte in [kg/m³]
- Materialdaten (MATE) in [cm/s]
- Transmissivitäten (TRAN) in [cm²/s]

Die maßgebende Zeiteinheit für Ein-/Ausflüsse wird in der Modelldatei bestimmt. Daher müssen alle Zu-/Abflüsse des Modells auf diese Zeiteinheit umgerechnet werden. Als **Zeiteinheit** steht zur Verfügung: **SEKUNDE, TAG, MONAT, JAHR**.

Massenzu- und abflüsse (QKON) sind pro Zeiteinheit Sekunde.

3.2 Beschreibung der Datenarten

Grundlage für alle Daten bildet das Netz aus den Finiten Elementen (Dreiecke und Vierecke). Durch dieses Netz, das aus Knoten und Elementen besteht, werden die Geometrie und die geographischen Gegebenheiten festgelegt bzw. wiedergegeben. Jedes Element und jeder Knoten muss nummeriert sein. Über diese Nummern werden die einzelnen Daten zugeordnet. Die Daten lassen sich in vier Gruppen aufteilen:

- Geometrische Daten
- Materialdaten
- Randbedingungen und Quellterme
- Hilfsdaten zur weiteren Auswertung und Darstellung

In den folgenden Beschreibungen bedeuten:

1K nur bei Modell mit 1D-Klüften sinnvoll

2K nur bei Modell mit 2D-Klüften sinnvoll

Ist keine ***Modellart*** angegeben, ist die entsprechende Datenart bei mehreren Modellarten sinnvoll.

3.2.1 Geometrische Daten

Dies sind alle Daten, die zur Erstellung des FE-Netzes erforderlich sind (Knoten/Elemente/Klüfte).

3.2.1.1 Elementbeschreibung

Kennung: **ELEM** [-]

Diese Datenart beschreibt, durch welche Knoten die Vierecks- bzw. Dreieckselemente gebildet werden. Die Elemente sind nummeriert; die Nummerierung ist beliebig.

Die Knotennummern zu jedem Element sind im Gegenuhrzeigersinn aufgelistet.

Bei Dreiecken wird der 4. Knoten als 0 eingegeben. Pro Zeile der Modelldatei (*.net) ist die Festlegung von zwei Elementen möglich.

Beispiel:

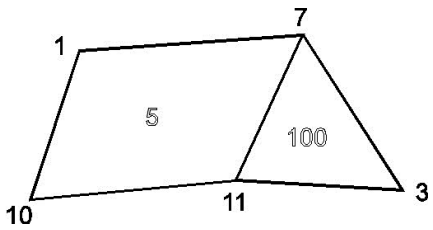


Abb. 15: Zuordnung der Elementknoten

Innerhalb einer Zeile kann die 1. oder 2. Elementbeschreibung wegfallen, ohne dass die Spalten neu belegt werden müssen. Die Elementbeschreibungen sind das Ergebnis des Netzgenerators und werden automatisch in der Modelldatei gespeichert.

3.2.1.2 Generator für Rechtecknetze

Kennung: **GENE** [-]

Mit dieser Datenart können regelmäßige Rechtecknetze generiert werden. Alle Koordinaten sowie die Elementbeschreibungen werden automatisch erzeugt, so dass die Knoten- und Elementinzidenzen für das generierte Gebiet entfallen können. Es können mehrere Rechtecke, auch zusammenhängende, gleichzeitig generiert werden. Ebenso lässt sich ein generiertes Rechtecknetz mit den Datenarten KOOR und ELEM kombinieren. Die generierten Koordinaten und Elementbeschreibungen werden im richtigen Format in der Ausgabedatei der Modellprüfung gespeichert. Die Daten können zur Ergänzung eines bestehenden Datensatzes oder zur Modifizierung in die Modelldatei (*.net) kopiert werden. Dies ist erforderlich, wenn die Modelldatei mit SPRING weiterbearbeitet werden soll. Die Lage des Rechtecknetzes wird durch die folgenden Eingabedaten beschrieben:

```
Spalte  1 - 10: X1 x-Koordinate Eckpunkt links unten in m
Spalte 11 - 20: Y1 y-Koordinate Eckpunkt links unten in m
Spalte 21 - 30: X2 x-Koordinate Eckpunkt rechts oben in m
Spalte 31 - 40: Y2 y-Koordinate Eckpunkt rechts oben in m
Spalte 41 - 46: NX Anzahl der Elemente in x- Richtung
Spalte 47 - 52: NY Anzahl der Elemente in y- Richtung
Spalte 53 - 58: NAK erste Knotennummer, Knoten (X 1, Y 1)
Spalte 59 - 64: NAE erste Elementnummer (Element links unten)
Spalte 65 - 70: IVH = 1 horizontale Knotennummerierung
                IVH = 0 vertikale Knotennummerierung
Spalte 71 - 80: PHI Verdrehungswinkel in Grad
```

Beispiel:

Für diese Zahlenkombination ergibt sich das folgende Bild:

(X1 = (10.0, 25.0), X2 = (100.0, 70.0), NX = 6, NY = 2, NAK = 1, NAE = 20, IVH = 1, PHI = 20.0 Grad)

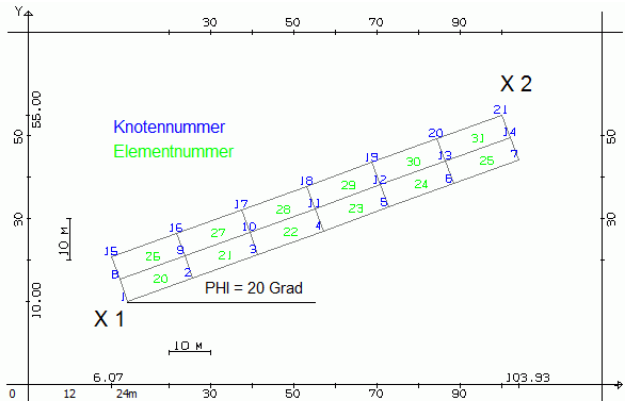


Abb. 16: Automatisch generiertes Rechtecknetz

3.2.1.3 Kluftbeschreibung

Kennungen: **1DEL** (1D-Klüfte), **2DEL** (2D-Klüfte)

Modellart: 1K, 2K

Mit dieser Kennung werden die 1D- bzw. 2D-Kluftelemente durch ihre jeweiligen Knoten beschrieben. Die Klüfte müssen nummeriert sein; die Nummerierung ist beliebig.

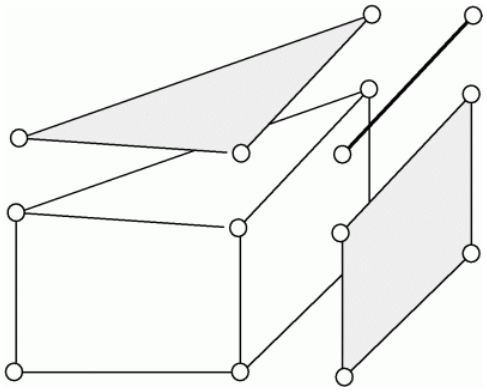


Abb. 17: Mögliche Kluft-Elemente

Es müssen die Kluftnummern sowie die zwei bis vier Knotennummern eingegeben werden, die die Kluft bilden. Bei 2D-Klüften, die lediglich drei Eckknoten haben, wird der 4. Knoten als 0 eingegeben. Pro Zeile in der Modell- bzw. 3D-Datei (*.3d) ist die Festlegung von zwei Klüften möglich.

```
Spalte  1 -  6: Nummer 1. Kluft
Spalte  7 - 12: 1. Knotennummer 1. Kluft
Spalte 13 - 18: 2. Knotennummer 1. Kluft
Spalte 19 - 24: 3. Knotennummer 1. Kluft (nur bei 2D-Klüften)
Spalte 25 - 30: 4. Knotennummer 1. Kluft (nur bei 2D-Klüften)
```

```
Spalte 37 - 42: Nummer 2. Kluft
Spalte 43 - 48: 1. Knotennummer 2. Kluft
Spalte 49 - 54: 2. Knotennummer 2. Kluft
Spalte 55 - 60: 3. Knotennummer 2. Kluft (nur bei 2D-Klüften)
Spalte 61 - 66: 4. Knotennummer 2. Kluft (nur bei 2D-Klüften)
```

Innerhalb einer Zeile kann die 1. oder 2. Kluftbeschreibung wegfallen, ohne dass die Spalten neu belegt werden müssen. Eindimensionale Klüfte (1DEL) können derzeit nur mit dem Programm KLUFTI erstellt bzw. dargestellt werden.

3.2.1.4 Knotenkoordinaten

Kennung: **KOOR** [-]

Die Knoten sind die Eckpunkte der Elemente. Jeder Knoten wird in einem rechtwinkligen Koordinatensystem durch eine X- und Y-Koordinate definiert. Während der Modellerstellung mit SPRING wird jedem Knoten automatisch eine Nummer zugewiesen.

In einem Vertikalmodell ist zu beachten, dass die Y-Koordinaten der Knoten mit der Geländeoberfläche übereinstimmen müssen.

Pro Zeile in der *.net Datei können 1 bis 3 Knoten definiert werden.

Innerhalb einer Zeile können beliebige Knoten gelöscht werden, ohne dass die freien Spalten wieder aufgefüllt werden müssen. Nur Leerzeilen dürfen nicht entstehen.

3.2.1.5 Maßstabsdaten

Kennung: **MASS** [-], 9. Zeile der Modelldatei

Die beiden Zahlen geben die Maßstäbe in x- und y-Richtung an. Sie werden bei der Ploterstellung ausgewertet. Der Maßstab wird bei der Bearbeitung mit der Benutzeroberfläche von SPRING zu Beginn der Modellerstellung im Dialog *Datei → Neu* festgelegt.

3.2.1.6 Modellart

7. Zeile der Modelldatei

Kennung: **HORI** für ein 2D-Horizontalmodell

Kennung: **VERT** für ein 2D-Vertikalmodell

Kennung: **3D-M** für ein kombiniertes 2D/3D-Modell bzw. reines 3D-Modell

Kennung: **V-3D** für ein 3D-Vertikalmodell

Die Modellart wird bei der Bearbeitung mit der Benutzeroberfläche von SPRING zu Beginn der Modellerstellung im Dialog *Datei → Neu* festgelegt. Da zunächst mit einem 2D-Modell begonnen wird, steht hier nur die Auswahl zwischen Horizontal- und Vertikalmodell zur Verfügung.

3.2.1.7 Nummernoffset für 3D-Modell

Kennung: **3DNR** [-] (nur in 3D-Modelldatei, *.3d)

Das voreingestellte Offset von 10,000 zur automatischen Nummerierung der Knoten- und Elementnummern der tieferen Schichten bei 3D-Modellen kann mit dieser Kennung auf einen beliebigen Wert gesetzt werden. Jedoch muss die höchste Knotennummer der obersten Knotenschicht kleiner sein als das gewählte Offset. Das Nummernoffset ändert sich automatisch, wenn bei der Netzgenerierung mit SPRING eine Knotennummer in der obersten Knotenschicht entsteht, die größer ist als das Nummernoffset.

Beispiel: 3DNR = 15000

Dadurch wird der Knoten 15 der oberen Schicht in der zweiten Knotenschicht zu 15015, in der dritten zu 30015, usw.

3.2.1.8 Randknoten für 3D-Gebiet

Kennung: **3DRA** [-] (nur in 3D-Modelldatei, *.3d)

Durch Angabe eines geschlossenen Randes (d.h. die erste Knotennummer entspricht der letzten Knotennummer) können das Gesamtgebiet oder ein oder mehrere Teilgebiete eines 2D-Horizontalmodells in die 3. Dimension erweitert werden. Dies geschieht mit Hilfe des Menüs *Netz → 3D → 3D-Rand → erzeugen/hinzufügen*. Die Knotennummern der Randknoten werden in ihrer Reihenfolge auf dem Rand im Gegenuhrzeigersinn automatisch für jeden Rand getrennt gespeichert.

Liegt ein 2D-Modell mit einem oder mehreren 3D-Teilgebieten vor, kann durch das Vorzeichen der Knotennummern in der 3DRA-Randdefinition die Randbedingung an den 3D-Randknoten beeinflusst werden (vgl. Aufbau 2D/3D-Modelle):

- Sofern die Knotennummern *positiv* eingegeben werden, wird bei der Generierung des 3D- Netzes als Randbedingung über die Tiefe ein gleiches Potential (= nur horizontale Strömung) angesetzt.
- Ist dies bei einigen oder allen Knoten nicht gewünscht, müssen die entsprechenden Knotennummern mit *negativem* Vorzeichen eingegeben werden.

Das oben beschriebene Ansetzen der gleichen Potentiale über die Tiefe ist nur möglich, wenn sich das 3D-Gebiet nicht über das gesamte Modellgebiet erstreckt. Bei einem vollständigen 3D-Modell müssen die Randbedingungen (Potentiale oder Mengen) explizit angegeben werden. Die Potentiale werden nicht über die Tiefe gleichgesetzt!

3.2.1.9 Schichteinteilung für 3D-Gebiet

Kennung: **3DSH** [-] (nur in 3D-Modelldatei, *.3d)

Die automatische Generierung des 3D-Netzes aus der durch die Eingaben errechneten Mächtigkeit des 2D-Modells wird durch Angabe der Teilungen (nicht der absoluten Dicke!) bestimmt.

Beispiel:

Die Angabe: 3DSH: 1 2 2 hat folgende Wirkung:

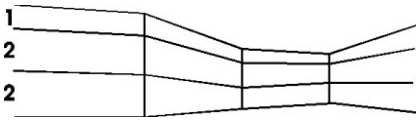


Abb. 18: Automatische Schichteinteilung

In der Tiefe werden insgesamt vier Knotenschichten generiert. Die Dicke der 1. Elementschicht ist halb so groß wie die der zweiten und dritten. Die absoluten Z-Werte werden durch Differenzbildung zwischen Oberfläche und Unterfläche des Modells automatisch ermittelt.

3.2.1.10 Z-Koordinaten für 3D-Modell

Kennung: **ZKOR** [-] (nur bei 3D-Modellen, *.3d)

Mit dieser Kennung werden die Z-Koordinaten der tieferen Knotenschichten in der .3D-Datei eingegeben. Als Knotennummern werden die Nummern der obersten Schicht angegeben. Der 1. ZKOR-Datenblock in der 3D-Datei wird zur Belegung der Z-Koordinaten der 2. Knotenschicht verwendet, der 2. ZKOR-Datenblock in der 3D-Datei wird zur Belegung der Z-Koordinaten der 3. Knotenschicht verwendet usw. Die Nummer der Knotenschicht, für die gerade die Lagehöhen definiert wird, ist also immer um 1 höher als die Nummer des entsprechenden ZKOR-Blocks. Die Lagehöhe der obersten Knotenschicht ergibt sich aus den Daten der Modelldatei: aus den Geländehöhen bzw. den Eichpotentialen.

Beispiel:

```
ZKOR   (2. Knotenschicht)
         22.53       1-    125,    235,
         23.11     126,    154,
ZKOR   (3. Knotenschicht)
         16.27       1,      5,
         16.08       2-      4,     25
```

Ist das 3D-Nummernoffset auf 10.000 gesetzt, so hat der Knoten mit der Nummer 10001 (2. Knotenschicht) z.B. die z-Koordinate 22,53 m und der Knoten 20001 (3. Knotenschicht) die z-Koordinate 16,27 m.

3.2.1.11 Zeiteinheit

Kennung: **ZEIT** [-], 5. Zeile der Modelldatei

Ab Spalte 17 wird in die gleiche Zeile der Kennung eine der folgenden Zeiteinheiten explizit linksbündig eingetragen (dabei sind nur die ersten 4 Zeichen der Zeiteinheitenkennung relevant):

SEKUNDE, TAG , MONAT oder JAHR

Die Zeiteinheit TAG besteht aus drei Buchstaben und einem Leerzeichen.

Diese Datenart besteht also nur aus einer Zeile (+ Leerzeile). Sie wird bei der Bearbeitung mit der Benutzeroberfläche von SPRING zu Beginn der Modellerstellung im Dialog *Datei → Neu* festgelegt.

Die Zeitangabe bezieht sich auf alle Ein-/Ausflüsse im Modell, d.h. alle entsprechenden Eingabewerte müssen auf diese Zeiteinheit umgerechnet sein.

3.2.2 Materialdaten

Hierzu gehören alle Daten, die die Eigenschaften des Materials (Aquiferparameter, wie z.B. Durchlässigkeiten, Speicherfähigkeiten, Porositäten und Kluftparameter) abbilden.

3.2.2.1 Bergsenkungen

Attribut: **BERG** [m] (nur bei Horizontal- oder 3D-Modellen)

Dieses Attribut wird zur Berechnung des Bergsenkungseinflusses auf Unterfläche, Oberfläche, Mächtigkeit des Grundwasserleiters, Lage von Vorflutpotentialen und auf die Geländeoberfläche benötigt. Eine Berücksichtigung bei diesen Datenarten geschieht automatisch! Daher ist bei der Eingabe dieser Werte die Höhe bezogen auf den Referenzzeitpunkt der Bergsenkungen einzugeben.

An den Orten des Gebietes, wo keine Bergsenkungen auftreten, sind die Knoten mit dem Wert 0.0 zu belegen (Einheit m).

Durch Bergsenkungen werden insbesondere auch oberirdische Vorflutverhältnisse beeinflusst. So kann ein exfiltrierendes Gewässer (Vorfluter) durch die Senkungen tiefer in den Grundwasserleiter einschneiden, wodurch sich der grundwasserbürtige Abfluss verstärkt.

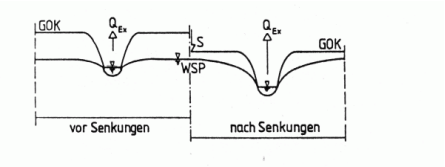


Abb. 19: Einfluss von Bergsenkungen auf ein exfiltrierendes Gewässer

Andererseits können die Senkungen dazu führen, dass das vorher exfiltrierende Gewässer sein Gefälle verliert und so seine Entwässerungsaufgabe nicht mehr erfüllt. Folge: es entstehen Vernässungen an der Geländeoberfläche.

Für ein vorher infiltrierendes Gewässer ist es durch Senkungen möglich, dass es dann in den Grundwasserleiter einschneidet und sich der Infiltrationsvorgang in einen Exfiltrationsvorgang umkehrt.

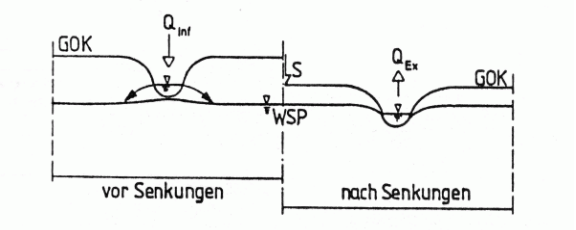


Abb. 20: Einfluss von Bergsenkungen auf ein infiltrierendes Gewässer

3.2.2.2 Dichteparameter

Attribut: **DICH** [kg/m³] (knotenbezogen) (Transportmodell)

Maß für die Dichte von Quellen/Senken bzw. Potentiale

3.2.2.3 Dispersivitäten

Attribute: **1DDI** (für 1D-Klüfte)**, 2DDI** (für 2D-Klüfte) (für 1K oder 2K Transportmodell)

Attribut: **DISP** (elementbezogen) (Transportmodell)

Zur Berechnung des Stofftransports muss für jedes Element (und jede Kluft) die Dispersivität in longitudinaler Richtung angegeben werden.

Bei den Elementen (**DISP**) wird die Dispersivität in transversaler Richtung automatisch mit 1/10 des Wertes in longitudinaler Richtung angenommen und in transversal-vertikaler Richtung (bei 3D-Modellen) mit 1/100 der longitudinalen Dispersivität. Eine Änderung dieser voreingestellten Faktoren kann im Eingabefenster der Stofftransportberechnung vorgenommen werden.

Bei Klüften wird die transversale Dispersivität auf 0 gesetzt.

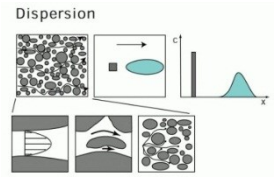


Abb. 21: Schematische Darstellung des Dispersionsvorgangs

3.2.2.4 Durchlässigkeiten

Beispiel für den Aufbau eines Durchlässigkeitsversuchs:

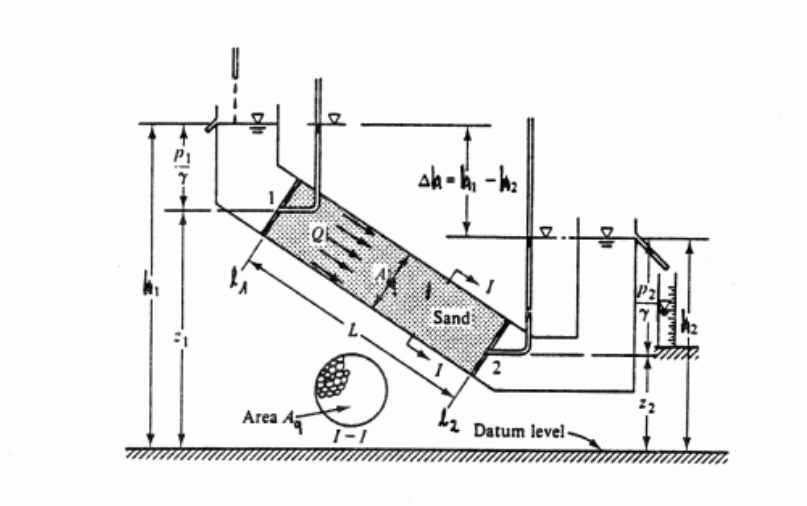


Abb. 22: Größen zur Beschreibung des Durchlässigkeitsversuchs (aus: Bear, 1979)

Die in SPRING über die Attribute KWER, KWEV und KFVH definierten Durchlässigkeitswerte gelten für isotrope Strömungsverhältnisse. Dies bedeutet, die Durchlässigkeiten sind unabhängig von der Strömungsrichtung und somit in allen Richtungen gleich stark ausgeprägt.

Eine Anisotropie kann im zweidimensionalen Fall über eine Zuweisung der Attribute ZONE und MATE berücksichtigt werden.

Für den dreidimensionalen Fall ist eine Berücksichtigung von anisotropen Strömungsverhältnissen über den Menüpunkt *Attribute → Extras → Anisotrope K-Werte* möglich. Dieser Menüpunkt ist aktiviert, sobald das Attribut Z-KA zugewiesen ist.

Es ist ebenfalls möglich, die K-Werte entsprechend des geologischen Modellaufbaus dem Schichtverlauf und damit der Elementgeometrie anzupassen. Sollen die K-Werte ALLER Schichten anhand der Geometrie korrigiert werden, erfolgt dies über einen zusätzlichen Eintrag am Ende der Batchdatei *sitra.bsi*:

```
ROTATION KWER
```

Eine differenzierte Behandlung der einzelnen Schichten erfolgt über das Attribut Z-KA und den Menüpunkt *Attribute → Extras → Anisotrope K-Werte*.

3.2.2.4.1 K-Wert

Attribut: **KWER** [m/s]

Mit dieser Datenart können Durchlässigkeitswerte (nur Isotropie) elementweise eingegeben werden. Die Einheit m/s ist unabhängig von der Zeiteinheit der Modelldatei.

'F' in Spalte 15 bedeutet, dass der K-Wert bzgl. der Elemente seiner Nummernliste ein gesicherter/fester Messwert ist, der beim iterativen Kalibrieren nicht verändert werden darf.

Generell gelten für die eingegeben K-Werte standardmäßig isotrope Verhältnisse, d.h., es gilt im Horizontal- und Vertikalmodell $K_x = K_y$ bzw. im 3D- Modell $k_x = k_y$ und $k_z = KFVH * k_x$.

Der Faktor KFVH für die Durchlässigkeit in Z-Richtung ist auf 1/10 voreingestellt, sofern er nicht explizit definiert wird. Durch den Faktor KFVH < 1.0 wird eine gewisse Anisotropie in vertikaler Richtung berücksichtigt.

3.2.2.4.2 K-Wert, vertikal

Attribut: **KWEV** [m/s] (nur bei 3D-Modellen).

Für die 3D-Elemente können vertikale K-Werte angegeben werden.

Bei Zuweisung des Attributes KWEV gilt: $k_x = k_y$ = KWER, k_z = KWEV. Wenn KWEV nur für einen Teil der Elemente definiert ist, gilt für die übrigen Elemente wie bisher: k_z = KFVH*k_x. Der Faktor KFVH für die Durchlässigkeit in Z-Richtung ist auf 1/10 voreingestellt, sofern er nicht explizit definiert wird.

Die Einheit m/s ist unabhängig von der Zeiteinheit der Modelldatei.

3.2.2.4.3 K-Wert, Verhältniswert

Attribut: **KFVH** [-] (nur bei 3D-Modellen)

Neben anderen Daten werden bei 3D-Modellen die vertikalen K-Werte für die tieferen Schichten vorbelegt, um den Eingabeaufwand zu reduzieren. Sind keine vertikalen K-Werte angegeben, werden sie aus den horizontalen K-Werten (KWER) durch Multiplikation mit einem Faktor belegt. Dieser Faktor ist voreingestellt auf 1/10 und wird in der 3D-Datei als Attribut KFVH abgelegt. Er kann dort editiert oder über den Menüpunkt *Attribute → Extras → Faktor vertikaler/horizontaler K-Wert (KFVH) anpassen*...geändert werden.

3.2.2.4.4 K-Wert, Beschränkung

Attribute: **KMIN** [m/s] (minimaler K-Wert), **KMAX** [m/s] (maximaler K-Wert)

Für die automatische Kalibrierung der K-Werte mit dem Gradientenverfahren können für jedes Element minimale bzw. maximale Grenzwerte angegeben werden. Die Einheit der Grenzwerte ist m/s, unabhängig von der Zeiteinheit der Modelldatei.

3.2.2.5 Geländeoberfläche

Attribut: **GELA** [m NN] (nur bei Horizontal- oder 3D-Modellen)

Die Geländeoberfläche wird benötigt, wenn Mächtigkeiten einer undurchlässigen Schicht (UNDU) eingegeben werden oder wenn Flurabstände berechnet werden sollen (Geländeoberfläche - Grundwasserstand = Flurabstand). Außerdem wird die Geländehöhe bei der Berechnung von Start- und maximalen Mächtigkeiten berücksichtigt und kann zur Definition der Lage der obersten Knotenschicht eines 3D-Modells verwendet werden. Die Eingabe erfolgt knotenweise.

Anhand der Geländedaten kann folgendes Reliefbild mit SPRING erstellt werden:

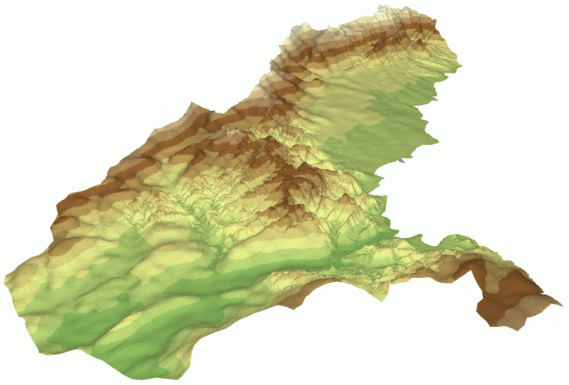


Abb. 23: Geländeoberfläche als Relief

3.2.2.6 Klufteigenschaften

Beispiel für die Form von Klüften in der Realität:

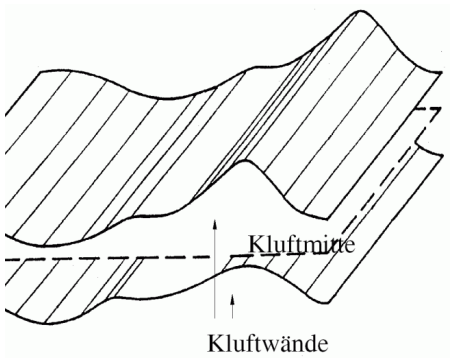


Abb. 24: Reale Form der Klüfte

3.2.2.6.1 Kluftmächtigkeiten

Attribut: **1DMA** [m] (nur 1K-Modelle)

Bei einer Simulation mit 1D-Klüften in einem 2D-Modell wird für jede Kluft eine Kluftmächtigkeit zur Berechnung des zur Verfügung stehenden Kluftvolumens benötigt. Die folgende Abbildung veranschaulicht den Strömungsweg in einer Kluft:

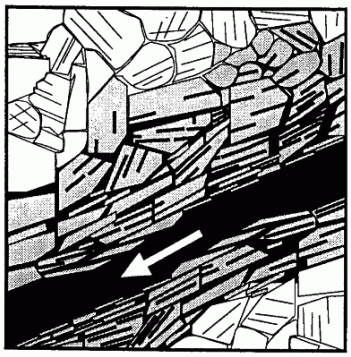


Abb. 25: Strömung in einer Kluft

3.2.2.6.2 Kluftöffnungsweiten

Attribute: **1DBR** [m] (für 1D-Klüfte, 1K-Modelle), **2DBR** [m] (für 2D-Klüfte, 2K-Modelle)

Bei der Berechnung mit 1D- oder 2D-Klüften muss für jede Kluft eine Kluftöffnungsweite definiert sein. Diese dient zur Berechnung des zur Verfügung stehenden Kluftvolumens. Entscheidende Bedeutung besitzt die Kluftöffnungsweite *b* bei der Approximation der Strömung in der Kluft durch das kubische Gesetz: Hier wird die Kluftpermeabilität proportional zu $b^2/12$ angenommen.

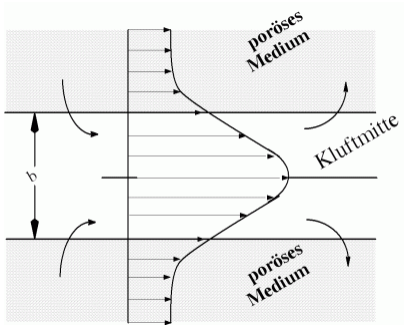


Abb. 26: Idealisierte Form der Klüfte mit Geschwindigkeitsprofil, Kluftöffnungsweite b

3.2.2.7 Kompressibilität des Gesamtsystems

Attribut: **KOMP** (knotenbezogen) [m²/N] (nur bei 3D-Modellen)

Mit dem Attribut KOMP lässt sich die Kompressibilität des Gesamtsystems, bestehend aus Matrix und Fluid, unter gesättigten Bedingungen festlegen. Das Attribut wird automatisch nachbelegt. Für die ungesättigten Bereiche werden weiterhin die Matrixkompressibilität (α) sowie die Fluidkompressibilität (β) benötigt, die bei instationären Berechnungen per Dialog (s. S. 294) eingegeben werden.

3.2.2.8 Leakageeigenschaften

3.2.2.8.1 Leakagekoeffizienten für Vorfluter

Attribute: **LEKN** (knotenbezogen), **LERA** (polygonzugbezogen), **LEEL** (elementbezogen, nur Horizontal- und 3D-Modelle)

Mit Hilfe dieser Datenarten wird der Leakagekoeffizient angegeben, der eine lineare Beziehung zwischen der Differenz des Vorflutwasserspiegels zum Grundwasserspiegel $\mathbf{h_{vorf}}$ **-h** und der Leakagemenge **Q** herstellt.

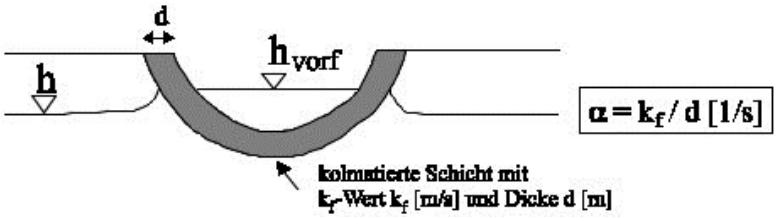


Abb. 27: Schema (1) der Leakageparameter

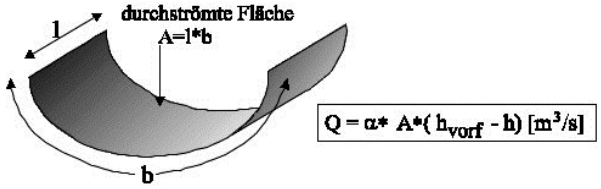


Abb. 28: Schema (2) der Leakageparameter

Die Berechnungsprogramme benötigen letztendlich einen umgerechneten Leakagekoeffizienten α in der Zeiteinheit [ZE] der Netzdatei,

L [m²/ZE]= α **A** [s/ZE],

der die direkte Berechnung der Leakagemenge (pro ZE) aus der Potentialdifferenz ermöglicht. A bezeichnet hierbei die anteilig durchströmte Fläche der Sohle des Vorfluters. Der Term "[s/ZE]" steht für die Umrechnung von Zeiteinheit Sekunde (s) auf die Zeiteinheit der Netzdatei (ZE). Sowohl die original eingegebenen Werte (LEKN, LERA, LEEL) als auch die zugehörigen umgerechneten Werte für **L** lassen sich später im Plot darstellen!

Zwischen dem Leakagekoeffizienten α [1/s], den eingegebenen Datenarten (LEKN, LERA und LEEL) und L gelten die folgenden Beziehungen:

knotenbezogen (LEKN):

LEKN [m²/ZE] = α **A** [s/ZE] also **L** = LEKN

polygonzugbezogen (LERA) :

LERA [m/ZE] = α **b** [s/ZE] also **L** = **l** * LERA

Die anteilige Streckenlänge (l) für jeden Knoten des Polygonzuges/Vorfluters wird während der Modellprüfung eingerechnet. Sie errechnet sich als Summe des jeweils halben Abstands zu den jeweiligen Nachbarknoten des Polygonzuges. Daher ist bei Eingabe eines polygonzugbezogenen Leakagekoeffizienten die Reihenfolge der Knoten wichtig!

elementbezogen (LEEL):

Der unter dieser Datenart angegebene Wert hat - je nach der Belegung des Attributs UNDU – zwei mögliche Bedeutungen:

- UNDU für keinen Knoten des Elements eingegeben, oder für alle Knoten = 0:
  LEEL [1/ZE] = α [s/ZE] also L = A * LEEL
  Die Elementfläche A wird in der Modellprüfung eingerechnet!

- UNDU mit Werten > 0 für mindestens einen Knoten des Elements eingegeben:
  LEEL [m/s] = k_v [m/s].

Der eingegebene Wert gibt also den vertikalen K-Wert in m/s der überdeckenden Schicht an. Der über alle Knoten des Elements gemittelte Wert für UNDU (keine Eingabe für einen Knoten UNDU=0) wird als Dicke d der überdeckenden Schicht verrechnet. In den endgültigen Leakagekoeffizienten L wird dann in der Modellprüfung noch die Elementfläche A eingerechnet:

L = LEEL / UNDU A [s/ZE]

Bei der Eingabe der Leakagekoeffizienten ist darauf zu achten, dass diese (mit Ausnahme von LEEL in Kombination mit UNDU) in der Zeiteinheit (ZE) der Netzdatei anzugeben sind!

Zur Leakage-Berechnung ist immer die zusätzliche Angabe eines Vorflutpotentials (VORF) erforderlich. Andernfalls werden die Leakagedaten überlesen.

3.2.2.8.2 Leakagekoeffizient, Verhältniswerte

Attribute: **LKFA** [-] (knoten- bzw. polygonbezogen), **LEFA** [-] (elementbezogen, nur Horizontal- und 3D-Modelle)

Zur exakteren Abbildung von Leakage-Randbedingungen kann an Knoten (bzw. Polygonen) und Elementen mit definiertem Leakage das Verhältnis zwischen Ex- und Infiltrationskoeffizient definiert werden:

An Knoten und Polygonzügen:

Exfiltrationskoeffizient / Infiltrationskoeffizient = LKFA, (Exfiltrationskoeffizient ist hierbei LERA bzw. LEKN)

An Elementen:

Exfiltrationskoeffizient / Infiltrationskoeffizient = LEFA, (Exfiltrationskoeffizient ist hierbei LEEL)

3.2.2.8.3 Leakage-Beschränkung

Attribute: **MXKE** für max. Exfiltration [m³/ZE/m] (Polygonzug), **MXEE** für max. Exfiltration [m³/ZE/m²] (Elemente, nur Horizontal- und 3D-Modell), **MXKI** für max. Infiltration [m³/ZE/m] (Polygonzug), **MXEI** für max. Infiltration [m³/ZE/m²] (Elemente, nur Horizontal- und 3D-Modell)

Hier können Maximalwerte für die In-/Exfiltrationsmengen bei Leakage-Beziehungen angegeben werden. Die Einheit für eine polygonzugbezogene Beschränkung ist m³/ZE/m. Der endgültige Maximalwert für den einzelnen Knoten wird im Programm durch Multiplikation mit der anteiligen Strecke zwischen dem linken und rechten Nachbarknoten gebildet. Aus diesem Grund ist die Reihenfolge der Nummern wichtig! Die Einheit für den elementbezogenen Maximalwert ist m³/ZE/m². Hier wird der endgültige Wert durch Multiplikation mit der entsprechenden Elementfläche gebildet. Maximale Infiltrationsmengen können darüber hinaus mit Hilfe von Abrisshöhen (Datenart ABRI mit Vorflutpotential (VORF)) definiert werden.

Beispiele:

- MXKI = 0 bedeutet, dass an diesen Knoten (eines Gewässers) kein Wasser **in** das Grundwasser infiltriert.
- MXEI = 0 bedeutet, dass in diesen Elementen kein Wasser **in** das Grundwasser infiltriert.
- MXKE = 0 bedeutet, dass an diesen Knoten (eines Gewässers) kein Wasser **aus** dem Grundwasser ankommt.
- MXEE = 0 bedeutet, dass in diesen Elementen kein Wasser **aus** dem Grundwasser ankommt.

(Bei der inversen Modellierung können keine maximalen In-/Exfiltrationsmengen berücksichtigt werden.)

Das Verhältnis der einzelnen Parameter zueinander verdeutlicht die folgende Grafik:

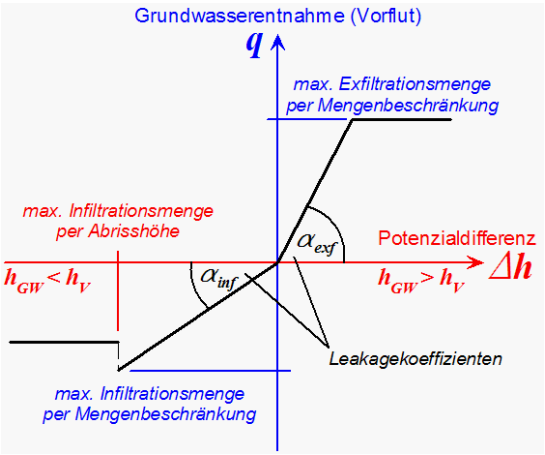


Abb. 29: Beziehung der Leakage-Parameter untereinander

Sind in einem Modell Leakagebeziehungen mit maximalen In- und/oder Exfiltrationsmengen vorgegeben, so wird in jeder Strömungsberechnung automatisch eine Iteration durchgeführt. Überschreitet die berechnete Leakagemenge an einem Leakage-Knoten oder in einem Leakage-Element die maximale In- oder Exfiltrationsmenge, so wird die Leakage-Randbedingung abgestellt und die entsprechende maximale Menge als Mengenrandbedingung angesetzt. Die Iteration wird so lange fortgesetzt, bis für alle Knoten und Elemente die Vorgaben erfüllt sind.

Die Lekage-Beschränkungen können über die Attribute KMKE und KMKI instationär geändert werden.

3.2.2.9 Mächtigkeiten

Attribute: **MAEC** [m] (elementweise), **MAEK** [m] (knotenweise), **MAXM** [m] (knotenweise)

Unter Mächtigkeit wird beim Horizontalmodell die Stärke des Grundwasserleiters, beim Vertikalmodell die Breite des Querschnittes durch den Grundwasserleiter verstanden. Die Daten werden element- oder knotenweise eingegeben (Einheit: m).

'F' in Spalte 15 bedeutet, dass die Mächtigkeit bzgl. der Elemente oder Knoten der Nummernliste ein Festwert ist. D.h. bei einer Iteration der Mächtigkeiten (Horizontalmodell) werden die Mächtigkeiten dieser Elemente oder Knoten festgehalten (gespannter Grundwasserleiter). Die Mächtigkeiten können instationär geändert werden. Im folgenden Kapitel ist die “Berechnung der Startmächtigkeit“ erläutert.

3.2.2.9.1 Berechnung der Start- bzw. maximalen Mächtigkeiten

In SPRING gibt es eine Reihe von Möglichkeiten, die Mächtigkeit eines Grundwasserleiters anzugeben. In der Modellprüfung (S. 241) können die Mächtigkeiten für die Berechnungsprogramme aus den folgenden Datenarten ermittelt werden (vgl. folgende Abbildung):

- direkte Angabe über die Mächtigkeit (Attribut MAEC oder MAEK, dann ist keine Iteration möglich)
- Berechnung aus: Oberkante (OBER) – Unterfläche (UNTE oder UNTK) (nur 2D)
- Berechnung aus: (Geländeoberfläche (GELA) – Undurchlässige Schicht (UNDU)) – Unterfläche (UNTE oder UNTK)
- Berechnung aus: Eichpotentialen (EICH) – Unterflächen (UNTE oder UNTK)

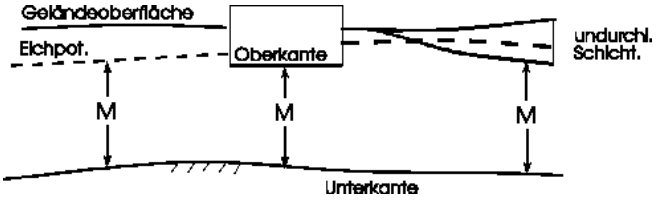


Abb. 30: Berechnung der Mächtigkeit M aus vorhandenen Daten

Die Mächtigkeiten werden als Element- oder Knotenwerte gespeichert. Da die Attribute GELA, UNDU und EICH knotenbezogen sind, werden sie zunächst auf Elementwerte interpoliert (sofern für alle Knoten eines Elements Werte eingegeben wurden), wenn die Mächtigkeiten nur als Elementwerte vorliegen. Dies kann eventuell zu Genauigkeitsverlusten führen.

Die Angabe einer Oberfläche (nur Horizontalmodelle) empfiehlt sich in solchen Fällen, wo eine natürliche oder künstliche obere Begrenzung (Bauwerk) des Grundwasserleiters vorhanden ist. Oberflächen können auch nur für Teilbereiche des Modellgebiets eingegeben werden. Liegt eine relativ undurchlässige Schicht auf dem Grundwasserleiter, sollte die Mächtigkeit dieser Schicht sowie die Geländehöhen eingegeben werden. Damit können auch Leakage-Effekte berücksichtigt werden. Bei 3D-Modellen kann eine Begrenzung „nach oben“ durch die Eingabe einer zusätzlichen Schicht mit sehr geringen Durchlässigkeiten abgebildet werden.

Die Angabe einer gemessenen Grundwasseroberfläche (Attribut EICH) ist nur für die Modellkalibrierung zwingend erforderlich. Allerdings ist auch bei einem bereits kalibrierten Modell die weitere Verwendung des Attributs EICH ratsam, da die hieraus resultierenden Start-Mächtigkeiten bei einer Iteration der Mächtigkeiten meist die besten Ausgangswerte liefern. Sind sowohl Oberfläche als auch Eichpotentiale angegeben, wird die jeweils kleinere, resultierende Mächtigkeit verwendet.

Die auf diese Weise in der Modellprüfung berechneten Mächtigkeiten werden bei Horizontalmodellen als Startmächtigkeiten für eine Iteration der freien Oberfläche verwendet.

Analog zur Berechnung der Startmächtigkeiten wird während der Modellprüfung eine Berechnung der maximal möglichen Mächtigkeit durchgeführt, um (je Element) entscheiden zu können, ob ein gespannter oder ungespannter Grundwasserleiter vorliegt. Die maximalen Mächtigkeiten werden wie folgt ermittelt:

Berechnung aus:

- Oberfläche (OBER) – Unterfläche (UNTE oder UNTK)
- (Geländeoberfläche (GELA) - Undurchlässige Schicht (UNDU)) – Unterfläche (UNTE oder UNTK)
- Geländeoberfläche (GELA) – Unterfläche (UNTE oder UNTK)

Basierend auf diesen Start- bzw. maximal möglichen Mächtigkeiten werden in den Strömungsberechnungen die Berechnungen zur Ermittlung der freien Oberfläche vorgenommen.

3.2.2.10 Materialdaten für anisotrope Zonierung (2D)

Attribut: **MATE** [-] (horizontalmodell)

Die Berücksichtigung der Anisotropie über diese Datenart erfolgt nur im Horizontalmodell.

Wie bei den Zonenkennzahlen erläutert, werden bei dieser Datenart jeder Zonenkennzahl K-Werte und Winkel zugeordnet. Zu den Materialdaten (MATE) gehört zwingend das Attribut Zonenkennzahlen (ZONE). Die Einheit der K-Werte ist m/s.

Beispiel:

```
ZONENKENNZAHLEN
             1       7-    11,    15
            10      16-    20
            10       1-     6,    12-    14
MATERIALDATEN
     1       0.005       0.005       0.0
    10       0.001       0.009      30.0
```

Die Elemente 7 bis 11 und 15 haben in x- und y-Richtung den gleichen K-Wert von 0.005 m/s ohne Verdrehung. Die Elemente 1 bis 6 und 12 bis 14 sowie 16 bis 20 sind anisotrop.

Besteht das gesamte Gebiet nur aus einem Material, ist nur eine Eingabe bzgl. der Materialdaten mit beliebiger Kennzahl nötig.

Ist der Winkel ungleich 0 oder sind die Durchlässigkeiten in x- und y-Richtung unterschiedlich, erfolgt bei einer Kalibrierung keine Veränderung!

Die folgende Abbildung verdeutlicht die geometrische Zuordnung:

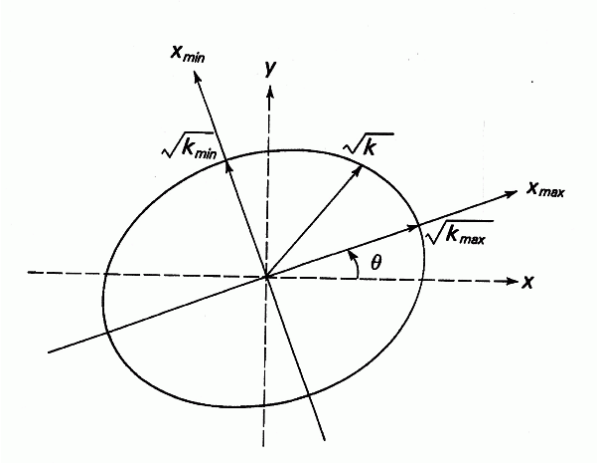


Abb. 31: Anisotropie im zweidimensionalen Fall

Die Achsen X_{max} und X_{min} bezeichnen die durch den Winkel Θ gedrehten Achsen X und Y.

K_{max} und K_{min} sind die maximalen und minimalen Durchlässigkeitswerte in Richtung der jeweiligen Achsen. K ist die sich ergebende effektive Durchlässigkeit in Strömungsrichtung, die innerhalb der Strömungsrechnung berechnet wird.

Die anisotropen Materialwerte können manuell in der *.net-Datei eingegeben oder über den Menüpunkt *Attribute → Extras → Anisotrope k-Werte* (S. 162) automatisch zugewiesen werden.

3.2.2.11 Oberflächen

Attribut: **OBER** [m NN] (nur bei Horizontalmodellen)

Grundwasserleiteroberflächen können nur verwendet werden, wenn gleichzeitig zu denselben Elementen Unterflächen definiert werden. Dadurch entfällt für diese Elemente die Eingabe von Mächtigkeiten. Grundwasserleiteroberflächen werden zusammen mit den Unterflächen zur Ermittlung der aktuellen und maximalen Mächtigkeiten verwendet.

Die Datenarten Mächtigkeit, Unter- und Oberfläche können in einem Modell gleichzeitig verwendet werden. Jedoch dürfen einem Element dadurch nicht zwei Mächtigkeiten zugewiesen werden (Oberfläche - Unterfläche = Mächtigkeit). Die Eingabe mit der Einheit [m NN] erfolgt elementweise. Bei 3D-Modellen kann eine Begrenzung “nach oben“ durch die Eingabe einer zusätzlichen Schicht mit sehr geringen Durchlässigkeiten abgebildet werden.

3.2.2.12 Porositäten

Attribut: **PORO** [-]

Diese Datenart kennzeichnet den durchflusswirksamen Porenanteil z.B. zur Berechnung der Abstandsgeschwindigkeit oder des Speicherkoeffizienten. Die Porosität ist das Verhältnis zwischen dem vom Grundwas-

ser durchflossenen Hohlraumvolumen und dem Gesamtvolumen des Aquifers. Die Eingabe erfolgt knotenweise.

3.2.2.13 Sättigungsparameter, Hysterese

Attribute: **ASAT** [-] (Anfangssättigung), **USAT** [-] (Bereichsnummer für Van-Genuchten-Parameter, nur Vertikal- und 3D-Modelle)

Bei der Strömungsberechnung mit dem Modul SITRA sind drei verschiedene Parametersätze für die Größen Restsättigung (S_{res}), Kehrwert des Wassereintrittsdrucks ($a = 1/p_e$), Porengrößenindex (n) und spezifischer Parameter in der relativen K-Wert-Funktion (l) vorgesehen. Je nach Bodentyp (Sand, Schluff oder Ton jeweils festgelegt durch die Größenordnung des entsprechenden K-Wertes) werden die folgenden Parameter in der Druck/Sättigungsfunktion und in der Funktion für den relativen K-Wert verwendet:

K-Wert [m/s]	S_{res}	a	n	l	Bodentyp
> $9.81*e^{-4}$	0.2	$1.4*e^{-3}$	1.5	0.5	Sand
$9.81*e^{-4}$ bis $9.81*e^{-7}$	0.4	$2.5*e^{-4}$	1.35	0.5	Schluff
< $9.81*e^{-7}$	0.9	$1.25*e^{-4}$	1.3	0.5	Ton

Aus Gründen der numerischen Stabilität werden die aus diesen Funktionen berechneten relativen K-Werte nach unten durch $1.0*e^{-2}$ m/s begrenzt.

Sollen andere als die voreingestellten Klassen mit den oben definierten Parametern verwendet werden, muss die Definition über Bodenbereiche (Elementbereiche) erfolgen. Dann wird durch das Attribut USAT jedem Element in einem Bereich, der eine bestimmte Parameterkombination erhalten soll, eine Bereichsnummer zugewiesen. Jede dieser Bereichsnummern identifiziert eindeutig einen Satz von Van-Genuchten-Parametern. USAT muss vollständig definiert sein. Sobald der Parameter USAT definiert ist, können die Parameter in SPRING interaktiv modifiziert werden über: *Attribute → Extras → van-Genuchten-Parameter* in folgendem Eingabefenster:

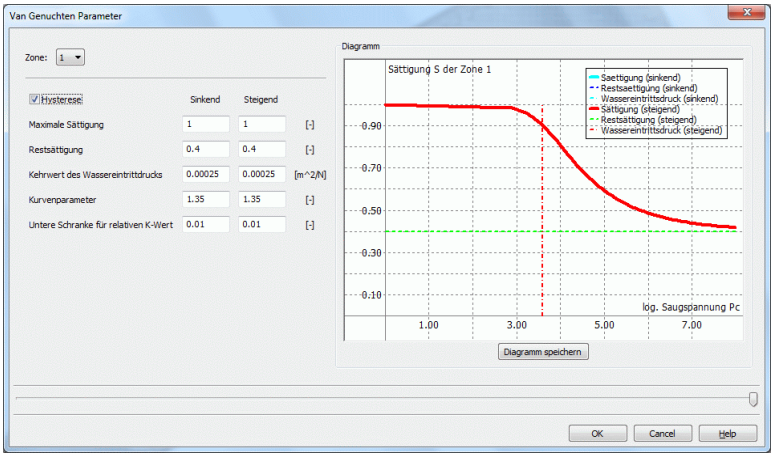


Abb. 32: Eingabe neu definierter van-Genuchten-Parameter

Gespeichert werden die Parameter in der Modelldatei in folgendem Format:

```
Van Genuchten Parameter:
1 0.400000 0.000250 1.350000 0.010000 0.500000 1.000000
Hysterese-Parameter:
1 0.400000 0.000250 1.350000 0.010000 0.000000 1.000000
```

Die Nachbelegung des Attributs USAT bei 3D-Modellen wird automatisch in der Modellprüfung durchgeführt.

Für die Strömungs- und Transportberechnung unter Berücksichtigung ungesättigter Verhältnisse kann für jedes Element die Anfangssättigung (ASAT) definiert werden. Zu Beginn der Berechnung kann dann die Berechnung des Anfangsdruckes aus der Anfangssättigung als Startwert für die Potentiale ausgewählt werden. ASAT muss vollständig definiert sein. Die Nachbelegung bei 3D-Modellen wird automatisch in der Modellprüfung durchgeführt.

3.2.2.14 Speicherkoeffizienten

Attribute: **SPEI** [-] (elementbezogen) oder **KSPE** [-] (knotenbezogen)

Bedeutung bei Horizontalmodellen:

Für jedes Element (SPEI) bzw. für jeden Knoten (KSPE) kann bei instationären Berechnungen ein Speicherkoeffizient S [-] für einen ungespannten Grundwasserleiter eingegeben werden. Im gespannten Grundwasserleiter wird statt des Wertes von SPEI oder KSPE der voreingestellte spezifische Speicherkoeffizient S_0 = S / Mächtigkeit = 3.3 10^{-6} verwendet. Dieser voreingestellte Wert kann für das Modul SITRA über die sitr-Datei geändert werden.

Bedeutung bei 3D-Modellen und Vertikalmodellen:

Normalerweise wird zur Berechnung des spezifischen Druck- Speicherkoeffizienten der instationären Druckgleichung (Theorie S. 290):

$$S_S = S_r \varsigma\left(\omega(1-n) + \rho^g n\right) + \varsigma\frac{\partial S_r}{\partial p}$$

Abb. 33: Instationäre Druckgleichung

für die Größe n [-] die über PORO eingegebene Porosität verwendet. Ist SPEI bzw. KSPE definiert, so wird an dieser Stelle die Porosität n durch den dort eingegebenen Wert ersetzt, ansonsten ist die Porosität mit 0.2 vorbelegt.

Für die instationäre Strömungsberechnung auf Seite **290** ist zu unterscheiden, welches Berechnungsmodul zum Einsatz kommen soll. Das Modul SITRA benötigt Knotenwerte für die Speicherkoeffizienten bzw. die Porosität. Daher ist bei Verwendung des Moduls SITRA die Eingabe über KSPE vorzuziehen, da über SPEI eingegebene Elementwerte auf Knotenwerte gemittelt werden müssen. Das Modul INSTAT verwendet Elementwerte für die Speicherkoeffizienten bzw. die Porosität. Hier ist also die Eingabe über SPEI vorzuziehen.

3.2.2.15 Transmissivitäten

Attribut: **TRAN** [cm²/s] (nur bei Horizontal- und Vertikal-Modellen)

Die Eingabe von Transmissivitäten erfolgt elementweise in der Einheit cm²/s. Es wird nur Isotropie berücksichtigt.

'F' in Spalte 15 bedeutet, der Wert ist ein gesicherter Wert, der beim iterativen Kalibrieren nicht verändert werden darf.

3.2.2.16 Undurchlässige Schicht

Attribut: **UNDU** [m] (nur bei Horizontalmodellen)

Durch die Eingabe einer undurchlässigen Schicht kann die Mächtigkeit des Grundwasserleiters beschränkt werden. Diese Vorgabe ist besonders bei einer instationären Berechnung von Bedeutung. Die Mächtigkeit der undurchlässigen Schicht wird außerdem bei der Berechnung von Start- und maximalen Mächtigkeiten berücksichtigt und wird zusammen mit dem unter der Datenart LEEL eingegebenen Leakage-Elementwert zur Berechnung eines Leakagekoeffizienten verwendet. Die Eingabe erfolgt knotenweise (Einheit m).

3.2.2.17 Ungesättigte Zone

Siehe: Sättigungsparameter (S. 53)

3.2.2.18 Unterflächen

Attribute: **UNTE** [m NN] (elementweise), **UNTK** [m NN] (knotenweise), (nur bei Horizontalmodellen)

Die Unterfläche des Grundwasserleiters wird zur Berechnung der horizontalen freien Oberfläche oder zusammen mit der Grundwasseroberfläche bzw. den Eichpotentialen oder den Geländehöhen zur Ermittlung der aktuellen und maximalen Mächtigkeiten benötigt.

Für eine Iteration der Mächtigkeit ist die Angabe der Unterflächen unbedingt erforderlich. Die Werte werden element- oder knotenweise eingegeben (Einheit m NN).

3.2.2.19 Zonierungen

3.2.2.19.1 Zonierung für Anisotropie (2D)

Attribut: **ZONE** [-] (Zonennummer, Horizontalmodell)

Innerhalb des Modells können Zonen definiert werden, die anisotrope Materialeigenschaftenaufweisen. Durch Zuweisung der Datenart ZONE werden die Elemente unterschiedlichen Zonen zugeordnet. Für jede Zonen-Kennzahl müssen die Materialdaten (K-Werte und Winkel) definiert werden. Zu den Zonenkennzahlen (ZONE) gehört zwingend das Attribut Materialdaten (MATE). Wenn im gesamten Netz nur isotrope K-Werte mit ein-

heitlichen Anisotropie-Werten vorliegen, so entfällt die Eingabe der Zonenkennzahl. Es ist ein ganzzahliger Wert größer Null erforderlich.

Beispiel: siehe Materialdaten (S. 51).

3.2.2.19.2 Zonierung für Anisotropie (3D)

Attribut: **Z-KA** [-] (Zonennummer, 3D-Modell)

Mit dieser Datenart werden die Elemente unterschiedlichen Zonen zugeordnet. Jeder Zone können über den Menüpunkt *Attribute → Extras → Anisotrope k-Werte* die K-Werte k1, k2, k3 sowie die zugehörigen Winkel a1, a2, a3 zugewiesen werden. Es ist ein ganzzahliger Wert größer Null erforderlich.

3.2.2.19.3 Zonierung für Abbau- und Produktionsparameter

Attribut: **Z-AP** [-] (Zonennummer, Transportmodell)

Mit dieser Datenart werden die Elemente unterschiedlichen Zonen zugeordnet. Pro Zonennummer kann in der Transportberechnung eine Abbaurate oder Grenzkonzentration definiert werden. Es ist ein ganzzahliger Wert größer Null erforderlich.

3.2.2.19.4 Zonierung von Adsorptionskoeffizienten bzw. Wärmeparametern

Attribut: **Z-KD** [-] (Zonennummer, Transportmodell)

Mit dieser Datenart werden die Elemente unterschiedlichen Zonen zugeordnet. Pro Zonennummer kann in der Transportberechnung ein Adsorptionskoeffizient definiert werden. Beim Wärmetransport kann eine Zonierung der Matrixeigenschaften vorgenommen werden. Es ist ein ganzzahliger Wert größer Null erforderlich. Die Zonennummerierung muss bei 1 beginnen und fortlaufend weitergeführt werden.

3.2.2.19.5 Zonierung für die inverse Modellierung

Attribute: **Z-KW** [-] (Zonierung für K-Werte), **Z-SP** [-] (Zonierung für Speicherkoeffizienten), **Z-LR** [-] (Zonierung für polygonzugbezogene Leakagekoeffizienten)

Mit diesen Attributen werden die Daten, die bei der inversen Modellierung auf Seite **268** kalibriert werden sollen, zoniert.

Für sämtliche Durchlässigkeitsattribute (KWER, KFWV, KWEV) werden die Elemente über Z-KW in Zonen eingeteilt.

Für die Speicherkoeffizienten (SPEI bzw. KSPE) wird eine Zonierung über Z-SP durchgeführt. Die Zonierung ist knotenbezogen, da die inverse Modellierung eine Kalibrierung der knotenbezogenen Speicherkoeffizienten vornimmt.

Für die polygonzugbezogenen Leakagekoeffizienten (LERA) können Zonierungen über die Datenart Z-LR durchgeführt werden. Hierbei ist es wie bei der Datenart LERA notwendig, die Knotenreihenfolge einzuhalten!!! Es ist ein ganzzahliger Wert größer Null erforderlich.

Zur genaueren Bedeutung der Zonierung sei hier auf die Ausführung zur inversen Modellierung auf Seite **268** verwiesen.

3.2.3 Randbedingungen und Quellterme

Zu dieser Gruppe gehören alle Zu- und Abflüsse, Versickerungen, vorgeschriebenen Potentiale / Konzentrationen, Brunnenentnahmen und Ähnliches (s. Abb.).

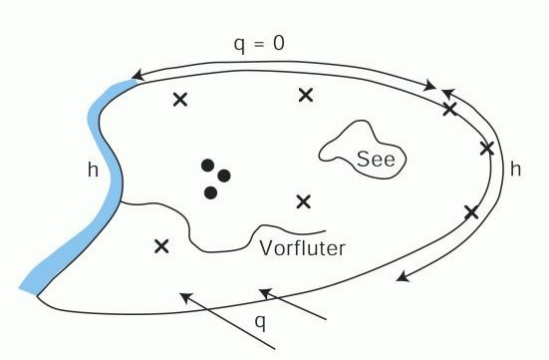


Abb. 34: Mögliche Randbedingungen

Mindestens erforderliche Randbedingungen in einem Strömungsmodell:

Für mindestens einen Knoten muss entweder ein Potential oder eine Menge vorgegeben werden. Dabei kann der Knoten einen Wert für das Potential (Datenart POTE) besitzen oder es ist eine Leakagerandbedingung (VORF und LERA oder LEKN oder LEEL in angrenzendem Element) definiert.

Für die Knoten des Modellrandes bestehen folgende Möglichkeiten:

- Für den Randknoten ist die Datenart POTE (Potential) vorgegeben:

Damit wird für diesen Knoten eine Randbedingung 1. Art vorgeschrieben. (Die Datenarten KNOT (Quellen/Senken) oder RAND (Randzufluss) können dann für diesen Knoten nicht mehr vorgegeben werden; Zuflüsse aus der Datenart FLAE (Flächenversickerung) in Horizontal- oder 3D-Modellen in angrenzenden Elementen sind allerdings möglich!) Zuflüsse bzw. Abflussmengen über diesen Randabschnitt errechnen sich dann automatisch aus der Massenbilanz.

- Für den Randknoten ist die Datenart POTE nicht vorgegeben:

Durch die Vorgabe der Datenart KNOT oder RAND können Zu- bzw. Abflussmengen über den Rand eingegeben werden (Randbedingung 2. Art). Bei 3D-Modellen sind auch die Neubildungsraten/Flächenversickerungen (FLAE) Randbedingungen 2. Art, d.h. sie definieren einen Zufluss über den oberen Modellrand.

Werden für einen Randknoten keine Zu- oder Abflussmengen über KNOT bzw. RAND (bzw. FLAE bei 3D-Modellen in einem an den Knoten angrenzenden Element) eingegeben, so sind die Randzuflüsse zum Gebiet an diesem Randabschnitt gleich Null gesetzt (undurchlässiger Gebietsrand).

Unabhängig davon, ob die Datenart POTE für Randknoten eingegeben wurde, kann der Zufluss von oben bei einem Horizontalmodell über die Datenarten FLAE eingegeben werden.

Wenn für einige Randknoten eines Gebietes keine der Datenarten POTE oder RAND oder KNOT (oder FLAE bei 3D-Modellen) in der Modelldatei angegeben wird, sind die Randbedingungen für diesen Randabschnitt 2. Art also ein undurchlässiger Rand (z.B. durch Spundwände oder Rand senkrecht zu Potentiallinien)

Mindestens erforderliche Randbedingungen in einem Transportmodell

Für jeden Knoten bestehen die folgenden Möglichkeiten:

- Die Konzentration im Knoten wird über die Datenart 1KON auf einen festen Wert gesetzt (Randbedingung 1. Art).
- An den Knoten, in denen eine Zuflussmenge aus RAND oder KNOT oder FLAE (in angrenzenden Elementen) oder aus der Reaktionsmenge für ein vorgeschriebenes Potential oder aus Leakagerandbedingungen (LEKN oder LERA oder LEEL und VORF) vorliegt, muss eine Einströmkonzentration KONZ (Zuflusskonzentration) vorgegeben werden. Wird für einen potentiellen Einströmknoten keine Einströmkonzentration über KONZ in den Modelldateien definiert, so wird diese automatisch gleich Null angenommen.
- An den Knoten des Modellrandes, über die ein Ausstrom aus dem Gebiet stattfindet, werden automatisch natürliche Randbedingungen festgesetzt, d.h. der dispersive Fluss über den Rand wird als Null angenommen.

3.2.3.1 Flutungssimulation, Grubenbauwerke

Attribut: **GRUB** [-] (Bereichsnummer), Stauziel und Zugabemenge (nur 3D-Modelle)

Für die Simulation des Einstauvorgangs von Grubenbauwerken, sind die Gruben mit einer Bereichsnummer (>0) an den Knoten zu kennzeichnen. Diese Nummer wird dann auch für die Bezeichnung der Einstauvolumen-Einstauhöhe-Beziehung verwendet.

Wenn das Attribut GRUB vergeben ist, lassen sich über einen Dialog in SPRING (*Attribute → Extras → Flutungsparameter*) das Stauziel (HMAX) und die Zugabemenge (MENG) für die einzelnen Gruben zuweisen. An dieser Stelle wird auch der Bezug zur Einstauvolumen-Einstauhöhe-Datei grubeX.hv (im csv.-Format) hergestellt.

Die csv-Datei sollte folgenden Aufbau haben:

```
10.0,0.0
15.0,234900.0
30.0,511600.0
35.0,602800.0
50.0,783000.0
```

Die Attribute HMAX und MENG können instationär verändert werden.

3.2.3.2 Heberreihen

Attribut: **HREI** [-], (nur bei 3D-Modellen)

Wasserwerke können Brunnen in so genannten Heberreihen betreiben. Bei dieser Betriebsweise ist keine individuelle Steuerung der einzelnen Brunnen möglich. Beim Betrieb dieser Brunnen unter extremen Bedingungen ist es möglich, dass einzelne Brunnen einer Heberreihe durch benachbarte, tiefer fördernde Brunnenreihen ihr zulässiges Absenkziel unterschreiten und somit den Totalausfall einer gesamten Reihe hervorrufen.

Als Polderbrunnen wird ein Brunnen verstanden, der ein definiertes Absenkziel einhält, jedoch unter der Einschränkung eine definierte maximal möglichen Entnahmemenge – i.d.R. die Leistungsgrenze der Pumpe – nicht zu überschreiten. Fällt die freie Grundwasseroberfläche in ein oder mehreren Brunnen einer Heberreihe, z.B. aufgrund benachbarter Absenktrichter unter das zulässige Absenkziel, werden die Brunnen der gesamten Reihe abgeschaltet bzw. die Randbedingungen an den betroffenen Elementnetzknoten aufgehoben (Prinzip “Totalausfall“). Die folgende Abbildung zeigt das Prinzip einer Heberreihe:

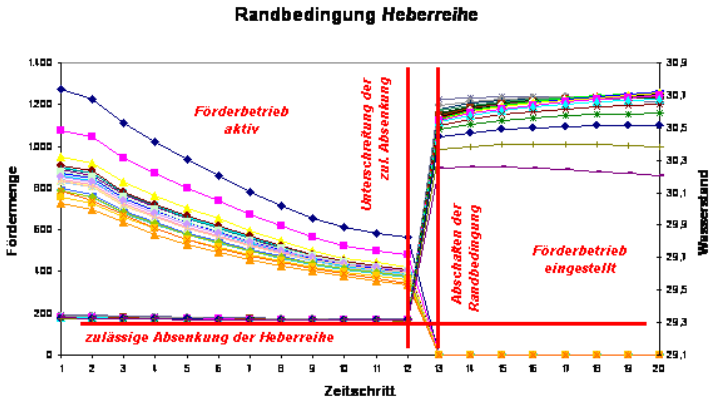


Abb. 35: Prinzip einer Heberreihe

Der Einbau einer solchen Heberreihe in das Grundwassermodell erfolgt nach folgendem Schema: Die Zusammengehörigkeit derjenigen Netzknoten, die eine Heberreihe bilden sollen, erfolgt durch Zuweisung einer eindeutigen Gruppennummer (HREI). Das zulässige Absenkziel wird für jeden dieser Knoten als Vorflutpotential (VORF) mit quasi-unendlichem Leakage-Koeffizienten (LERA) definiert. Zusätzlich erfolgt eine Beschränkung der Entnahmemenge (MXKE) z.B. über die Leistungsgrenze der Pumpe sowie eine Beschränkung der Infiltrationsmenge (MXKI) auf Null. Letztere Beschränkung ist deshalb zwingend erforderlich, da es sich bei einem Heberreihen-Knoten modelltechnisch weiterhin um einen Vorflutknoten (Cauchy-Randbedingung) handelt, dessen Reaktionsmenge positiv oder negativ sein kann und daher bei tiefer liegendem Grundwasserspiegel eine Zugabemenge in das Grundwasser darstellen kann.

3.2.3.3 Konzentrationen bzw. Temperaturen

Die in den folgenden Kapiteln beschriebenen Datenarten werden für eine Stofftransport- und eine Wärmetransportberechnung verwendet. Die Bezeichnungen in Menüs und Dialogen sind immer die einer Stofftransportberechnung. Bei einer Wärmetransportberechnung sind die Bezeichnungen vom Anwender selbstständig zu übertragen.

Die Einheit der Konzentrationsattribute hängt von der Art der Stofftransportberechnung ab:

- Bei einer Stofftransportberechnung mit einem Tracer bzw. dichteunabhängiger Strömung ist die Eingabe der Konzentration mit einer "beliebigen" Einheit möglich (z.B. [g/l], [g/g], [mg/l], [kg/kg], etc.) Die Einheit muss in einem Modell für alle Konzentrationsarten gleich sein.
- Bei einer dichteabhängigen Berechnung muss die Konzentration die Einheit [kg (gelöster Stoff)/kg (Lösung)] haben.
- Bei einer Berechnung mit Adsorption muss die Konzentration die Einheit [kg/m³] haben.

3.2.3.3.1 Anfangskonzentration/Anfangstemperatur

Attribut: **AKON** = [Einheit ist abhängig von der Art des Transports.] (nur Transportmodell)

Bei instationären Stofftransportberechnungen muss über die Datenart AKON ein Anfangszustand festgelegt werden. Die Eingabe der Anfangskonzentrationen/-temperaturen erfolgt knotenweise.

3.2.3.3.2 feste Konzentration/feste Temperaturen

Attribut: **1KON** = [Einheit ist abhängig von der Art des Transports.] (nur Transportmodell)

Mit 1KON können Konzentrationen/Temperaturen an einzelnen Knoten fest vorgeschrieben werden (Randbedingung 1. Art). 1KON Randbedingungen können instationär geändert werden (instationäre 1KON-Daten).

3.2.3.3.3 Zuflusskonzentrationen/-temperaturen

Attribut: **KONZ** = [Einheit ist abhängig von der Art des Transports.] (nur Transportmodell)

Mit der Datenart KONZ können eingegebenen Zuflüssen (aus KNOT, FLAE, RAND, RANQ, RANX) und berechneten Zuflussmengen (Leakagemengen, Reaktionsmengen aus festen Potentialen) Konzentrationen/Temperaturen zugeordnet werden. Zuflussmengen, an denen keine Konzentrationen definiert sind, erhalten automatisch die Zuflusskonzentration 0. Die Eingabe erfolgt knotenweise. KONZ Randbedingungen können instationär geändert werden (instationäre KONZ-Daten).

3.2.3.4 Mehrkomponentenparameter

Attribute: **1M*nr*** [Masseneinheit*/m³], **AM*nr*** [Masseneinheit*/m³], **KM*nr:*** Quellkonzentration (c_{nr}^{in}) [Masseneinheit*/m³], **QM*nr:*** Massenzu-/Abfluss ($q_{c,nr}$) [Masseneinheit*/s] (nur Transportmodell mit Modul XTRA)

Für die Berechnung von Transportprozessen mehrerer Komponenten mit SPRING im Modul XTRA stehen zusätzliche Modelldaten zur Definition von Quelltermen, Rand- und Anfangsbedingungen zur Verfügung.

Die Stoffnummer *nr* ist in den Modelldateien zweistellig (01, 02, 03, ... bis 99) einzugeben, so dass die jeweilige Kennung insgesamt aus 4 Zeichen besteht. Die Attribute sind analog zu den Attributen für die Transportberechnungen nur eines Stoffes (1Mnr →1KON, AMnr →AKON, QMnr →QKON und KMnr →KONZ) zu handhaben.

Die Zonennummern Z-KD müssen ganzzahlig und positiv sein. Elemente, die keinen Z-KD-Wert zugewiesen bekommen erhalten automatisch die Zonennummer 0.

*: Die Masseneinheit, in der die Konzentrationen für den Stoff nr angegebenen werden, werden in der Initialisierungsdatei xtra.ini festgelegt!

3.2.3.5 Neubildung

Die Grundwasserneubildung wird je nach Verfahren aus verschiedenen Faktoren ermittelt. Die folgende Abbildung zeigt Schema und Eingangsdaten für eine Neubildungsberechnung:

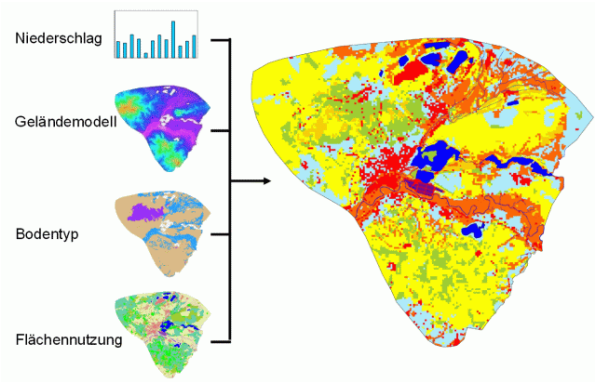


Abb. 36: Schema der Neubildungsberechnung

In SPRING werden folgende Verfahren für die Neubildungsberechnung verwendet:

- Verfahren nach Meßer
- Verfahren nach Schroeder & Wyrwich
- Verfahren nach Bodenwasserbilanz
- Verfahren nach RUBINFLUX

Die Verfahren werden ausführlich im Kapitel "How To - Neubildungsberechnung" auf Seite **417** beschrieben.

3.2.3.5.1 ATKIS-Daten

Attribut: **NATK** [-], (nur Horizontal- und 3D-Modelle)

Eine detaillierte Klassifizierung der Flächennutzung kann auf der Grundlage von ATKIS-Daten erfolgen. Diese werden über das Attribut NATK für alle Elemente bereitgestellt. Der verwendete Flächennutzungsschlüssel kann in die für SPRING erforderliche Flächennutzungskennung NMFN (für die Neubildungsberechnung nach Meßer) überführt werden (*Attribute → Berechnen → Neubildung*).

3.2.3.5.2 Bodentypen, -klassen

Attribute: **NMBT** [-] (Verfahren nach Meßer), **NSBT** [-] (Verfahren nach Schroeder & Wyrwich), (nur Horizontal- und 3D-Modelle), **BTYP** [-] (entspricht NSBT, erforderlich für die instationäre Neubildungsberechnung nach Bodenwasserbilanz), **NKBT** [-] (Verfahren nach RUBINFLUX)

Je nach Verfahren zur Ermittlung der Grundwasserneubildung werden die Elemente nach bestimmten Bodentypen klassifiziert. Beim Verfahren nach Meßer werden Sand- oder Lehmböden in Abhängigkeit ihrer nutzbaren Feldkapazität sowie Lössböden und Pseudogley unterschieden, beim Verfahren nach Schroeder & Wyrwich wird klassifiziert nach terrestrischen Sand- oder Lehmböden sowie semiterrestrischen Böden. Im Einzelnen sind die Verfahren in der Neubildungsberechnung beschrieben.

Die folgende Abbildung zeigt die Verteilung von Bodentypen in einem Modell:

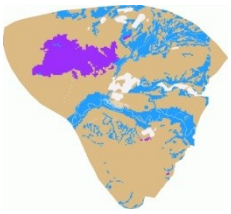


Abb. 37: Verteilung von Bodentypen in einem Modell

3.2.3.5.3 CORINE land use Daten

Attribut: **NCLC** [-], (nur Horizontal- und 3D-Modelle)

Eine detaillierte Klassifizierung der Flächennutzung kann auf der Grundlage von CORINE land use Daten erfolgen. Diese werden über das Attribut NCLC für alle Elemente bereitgestellt. Der verwendete Flächennutzungsschlüssel kann in die für SPRING erforderliche Flächennutzungskennung NMFN (für die Neubildungsberechnung nach Meßer) überführt werden (*Attribute → Berechnen → Neubildung*).

3.2.3.5.4 Direktabfluss nach Meßer

Attribut: **NMAD** [m/ZE], (nur Horizontal- und 3D-Modelle)

Der Direktabfluss nach Meßer wird anhand der Gefälleklassen, der Bodentypen, der Flurabstandsklassen und der Flächennutzung berechnet. Die Berechnung erfolgt auf der Grundlage von dbase-Dateien, die während der Installation von SPRING im Verzeichnis “C:\Users\Public\Documents\SPRING\Konfig“ (unter Windows 7) abgelegt werden. Einzelheiten zum Berechnungsverfahren finden sich im Kapitel “How To – Neubildungsberechnung“.

3.2.3.5.5 Flächennutzung

Attribute: **NMFN** [-] (Verfahren nach Meßer), **NSFN** [-] (Verfahren nach Schroeder & Wyrwich), (nur Horizontal- und 3D-Modelle), **NUTZ** [-] (entspricht NSFN, erforderlich für die instationäre Neubildungsberechnung nach Bodenwasserbilanz), **NKFN** [-] (Verfahren nach RUBINFLUX)

Je nach Verfahren zur Ermittlung der Grundwasserneubildung werden die Elemente nach ihrer Flächennutzung klassifiziert. Beim Verfahren nach Meßer wird neben der Unterteilung in Acker, Wald, Wasserflächen und Halden insbesondere bei der Bebauung nach dem prozentualen Versiegelungsgrad unterschieden. Beim Verfahren nach Schroeder & Wyrwich wird klassifiziert nach Acker, Waldarten, Bebauung und Wasserflächen. Im Einzelnen sind die Verfahren sowie die zugehörigen Kennwerte in dem Kapitel Neubildungsberechnung beschrieben.

Für weite Teile des Ruhrgebiets liegen detaillierte digitale Flächennutzungsdaten des Regionalverbands Ruhr (RVR) als sog. *Nutzungsartenkatalog der Flächennutzungskarte* vor. Dieser Flächennutzungsschlüssel kann in die für SPRING erforderlichen Flächennutzungskennungen NSFN, für die Neubildungsberechnung nach Schroeder und Wyrwich, bzw. NMFN für die Neubildungsberechnung nach Meßer überführt werden. Dazu ist der RVR-Code über das Elementattribut KVRN bereitzustellen. Bei der Verwendung von standarisierten Flächennutzungskodierungen wie CORINE land use und ATKIS besteht ebenfalls die Möglichkeit, diese in die von Meßer vorgegebene Einteilung für das Attribut NMFN zu überführen. Die folgende Abbildung zeigt die Verteilung der Flächennutzung in einem Modell:

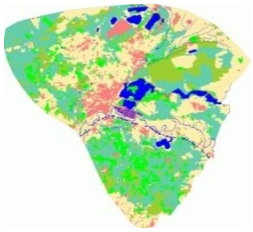


Abb. 38: Verteilung der Flächennutzung in einem Modell

3.2.3.5.6 Flächenversickerung

Attribut: **FLAE** [s.u.] (nur Horizontal- und 3D-Modell),

Mit dieser Datenart werden Ein- und Ausflüsse eingegeben, die sich auf Elemente bzw. auf Flächen beziehen. Den Elementen können z.B. Grundwasserneubildung oder -entnahmen zugeordnet werden (Einflüsse positiv, Ausflüsse negativ). FLAE-Mengen können instationär geändert werden (instationäre FLAE-Daten und EFLA-Daten).

Bedeutung der Spalte 16 in der Modelldatei:

Blank = der Wert hat die Einheit m³/Element/ZE (ZE = Zeiteinheit), d.h. allen Elementen der Nummernliste wird dieser Wert als Ein-/Ausfluss zugeordnet.

'*' = der Wert hat die Einheit m³/m²/ZE, d.h. alle Elemente der Nummernliste erhalten diesen Ein-/Ausflusswert pro m² (z.B. Versickerungsraten).

'/' = der Wert hat die Einheit m³/alle Elemente der Liste/ZE d.h. der Wert ist ein Gesamtwert, der auf alle Elemente der Nummernliste verteilt wird, und zwar proportional zu den Elementflächen.

Beispiel:

```
FLAECHENVERSICKERUNGEN
          0.50 *     1-    10
       -20000.      11-    14
      50000.00 /    15-    19
```

Auf die Fläche der Elemente 1 bis 10 fällt ein Niederschlag von 0.5 m³/m²/ZE. Bei den Elementen 11 bis 14 handelt es sich z.B. um Horizontalfilterbrunnen. Pro Element werden 20.000 m³/ZE gefördert. Die Elemente 15 bis 29 sind z.B. Versickerungsbecken, denen insgesamt 50.000 m³/ZE zugeführt werden. Dieser Gesamtwert wird auf die Elementflächen der einzelnen Becken verteilt.

3.2.3.5.7 Flurabstand

Attribut: **FLUR** [m],

Das Knotenattribut Flurabstand wird für die Ermittlung der Flurabstandsklassen in der Neubildungsberechnung nach Meßer benötigt. Das Attribut kann entweder aus den Ergebnisdaten der Strömungsberechnung eingelesen werden oder direkt über die Verrechnung der Geländeoberfläche mit der berechneten/gemessenen Grundwasseroberfläche ermittelt werden.

3.2.3.5.8 Flurabstandsklasse

Attribut: **NMFK** [-] (nur beim Verfahren nach Meßer), (nur Horizontal- und 3D-Modelle)

Die Elemente werden in Abhängigkeit ihres Flurabstands in vier verschiedene Klassen unterteilt. Die Einteilung der Klassen kann der Beschreibung in der Neubildungsberechnung entnommen werden.

3.2.3.5.9 Gefällegradient

Attribut: **GGRD** [%] (nur Horizontal- oder 3D-Modelle)

Der Gefällegradient kann in SPRING über den Menüpunkt: *Attribute → Berechnen → Gefällegradient* für alle Elemente berechnet werden. Die Einheit ist [%].

3.2.3.5.10 Gefälleklasse

Attribut: **NMGK** [-] (nur beim Verfahren nach Meßer), (nur Horizontal- und 3D-Modelle)

Die Elemente werden in Abhängigkeit ihrer Reliefenergie in vier verschiedene Klassen unterteilt. Die Einteilung der Klassen kann der Beschreibung in der Neubildungsberechnung entnommen werden. Die Gefälleklassen werden anhand des Geländemodells ermittelt. Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft eine zugewiesene Geländehöhe in einem Modell:

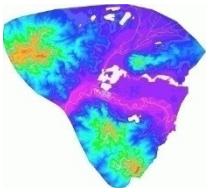


Abb. 39: Geländehöhen eines Modells

3.2.3.5.11 Geographische Breite

Attribut: **NKBR** [°] (Verfahren nach RUBINFLUX) (nur Horizontal- oder 3D-Modelle)

Die geographische Breite ist für die Berechnung der Grasreferenzverdunstung erforderlich. Die Einheit ist [°].

3.2.3.5.12 Klimadaten

Attribute: **NMKL** [-] (Verfahren nach Meßer), **NKID** [-] (Verfahren nach RUBINFLUX) (nur Horizontal- und 3D-Modelle)

Die Elemente werden beim Verfahren nach Meßer in Abhängigkeit der potentiellen Evapotranspiration (Attribut NETP) in 6 Klimatope eingeteilt. Beim Verfahren nach RUBINFLUX werden die IDs für die zugehörigen Klimadaten den Elementen zugeordnet.

Die Einteilung kann der Beschreibung in der Neubildungsberechnung entnommen werden.

3.2.3.5.13 Lagehöhe

Attribut: **NKLH** [mNN, mNHN, oder mamsl] (Verfahren nach RUBINFLUX) (nur Horizontal- und 3D-Modelle)

Die Lagehöhe kann in SPRING aus dem Knotenattribut GELA abgeleitet werden über den Menüpunkt *Attribute → Kopieren → Knoten -> Element.*

3.2.3.5.14 Niederschlag

Attribut: **NIED** [m/ZE bzw. m³/m²/ZE], (nur Horizontal- und 3D-Modelle)

Die Datenart NIED erfordert die Zeiteinheit „Jahr“ in der Modelldatei!

Die Datenart Niederschlag wird elementweise eingegeben. Für die Umrechnung der Gesamtniederschlagsmenge auf die einzelnen Elemente ist die Eingabe **"*"** in Spalte 16 der Modelldatei erforderlich. In der Regel liegen die Niederschlagsdaten als Excel-Dateien vor. Eine beispielhafte Niederschlagsverteilung ist in der folgenden Abbildung dargestellt:

Abb. 40: Niederschlagsverteilung

3.2.3.5.15 RVR-Klassen

Attribut: **KVRN** [-], (nur Horizontal- und 3D-Modelle)

Zur detaillierten Klassifizierung der Flächennutzung kann der Nutzungsartenkatalog der Flächennutzungskarte des Regionalverbands Ruhr (RVR) zugrunde gelegt werden.

Der dort verwendete Flächennutzungsschlüssel kann in die für SPRING erforderlichen Flächennutzungskennungen NSFN (für die Neubildungsberechnung nach Schroeder und Wyrwich) bzw. NMFN (für die Neubil-

dungsberechnung nach Meßer) überführt werden (*Attribute → Berechnen → Neubildung*). Dazu ist der RVR-Code über das Elementattribut KVRN bereitzustellen.

3.2.3.5.16 Schneller Abfluss

Attribute: **NKAV** [Vol.-%], **NKAG** [m/ZE] (Verfahren nach RUBINFLUX) (nur Horizontal- und 3D-Modelle)

Die Attribute NKAV (versiegelungsabhängige Abflusskomponente A_{VERS}) und NKAG (schnelle Abflusskomponente aus bodenabhängigen Parametern A_{SCS}) resultieren aus der instationären Neubildungsberechnung nach RUBINFLUX und können als Ergebnisdaten während der Berechnung ausgelesen werden.

3.2.3.5.17 Verdunstung, potentielle Evapotranspiration

Attribut: **NETP** [m/ZE], (nur Horizontal- und 3D-Modelle)

Zur Einteilung in die Klimazonen (Klimatope) (Attribut NMKL) muss für jedes Element die potentielle Evapotranspiration vorgegeben werden. Einzelheiten zum Berechnungsverfahren finden sich im Kapitel „How To - Neubildungsberechnung“.

3.2.3.5.18 Verdunstung, reale Evapotranspiration

Attribut: **NMET** [m/ZE], (nur Horizontal- und 3D-Modelle)

Die reale Verdunstung nach Meßer wird anhand der Klimazone, der Bodentypen, der Flurabstandsklassen und der Flächennutzung berechnet. Die Berechnung erfolgt auf der Grundlage von dbase-Dateien, die während der Installation von SPRING im Verzeichnis “C:\Users\Public\Documents\SPRING\Konfig“ (unter Windows 7 bzw. Vista) abgelegt werden. Dieser Pfad variiert je nach Betriebssystem oder Festplattenpartitionierung (z.B. unter Windows XP: “C:\Documents and Settings\All Users\Documents\SPRING\Konfig“). Einzelheiten zum Berechnungsverfahren finden sich im Kapitel “How To – Neubildungsberechnung“.

3.2.3.5.19 Versiegelung

Attribut: **VERS** [%], (nur Horizontal- und 3D-Modelle)

Für eine Berechnung nach Bodenwasserbilanz oder RUBINFLUX sind die Versiegelungsdaten über die Elementdatenart VERS in % bereitzustellen. Für das Verfahren zur Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate nach Meßer ist zwar für die Beurteilung der Mischvegetationsklassen in der Flächennutzung ein Versiegelungsanteil gefragt, dieser wird jedoch innerhalb der Umwandlung der Eingangsdaten (RVR-Code, CORINE land use oder ATKIS) in die Flächennutzung nach Meßer programmintern berechnet.

3.2.3.5.20 Wassergehalt des Bodens

Attribute: **NKFK** [Vol.-%], **NKWP** [Vol.-%], (Verfahren nach RUBINFLUX) (nur Horizontal- und 3D-Modelle)

Es wird unterschieden zwischen dem Wassergehalt bei Feldkapazität (NKFK) und dem Wassergehalt bei permanentem Welkepunkt (NKWP). Weitere Details zu diesen Daten finden sich im Kapitel "How To - Neubildung: Berechnung einer instationären Neubildungsrate".

3.2.3.6 Potentiale

3.2.3.6.1 Bezugspotentiale für Vorfluter, Abrisshöhen an Vorflutern

Attribute: **VORF** [m NN], **ABRI** [m]

Das konstante Bezugspotential des Vorfluters wird zur Berechnung der Potentialdifferenz h_{vorf} - h und der sich damit einstellenden Leakagemenge (lineare Beziehung) benötigt. Der Wert wird knotenweise eingegeben.

'F' in Spalte 15 bedeutet, dass das Vorflutpotential bei der Rechnung mit Bergsenkungen nicht mit dem Bergsenkungsbetrag verrechnet wird. (Bei einer Rechnung mit instationären Bergsenkungen werden die Vorflutpotentiale allerdings immer mit den instationären Bergsenkungen verrechnet. Das Zeichen 'F' ist in diesem Fall ohne Bedeutung.) VORF Randbedingungen können instationär geändert werden (instationäre VORF-Daten).

Die Datenart Vorflutpotential ist nur in Verbindung mit einem Leakagekoeffizienten wirksam.

Attribut **ABRI:**

Zur Berücksichtigung eingeschränkter Infiltrationsverhältnisse kann an einem Knoten mit Vorflutpotential ein Wert definiert werden, bei der die maximal mögliche Infiltrationsmenge erreicht ist und die Strömung abreißt. Dieser Wert ergibt sich, wenn die Grundwasserhöhe (h_{GW}) unter die Differenz Sohlhöhe (h_{Sohle}) - ABRI fällt. In

dem Fall wird zur Berechnung der sich einstellenden Leakagemenge die Potentialdifferenz von h_{Vorf} - h_{Sohle} ermittelt. Hierbei entspricht h_{Sohle} der Geländehöhe.

ABRI-Randbedingungen können instationär geändert werden (instationäre ABRI-Daten).
Die folgende Abbildung verdeutlicht die Beziehung zwischen Vorflut- und Abrisshöhe:

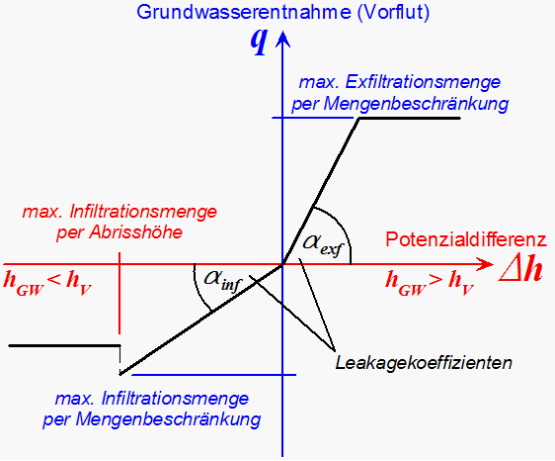


Abb. 41: Beziehung zwischen Vorflut- und Abrisshöhe

3.2.3.6.2 Eichpotentiale

Attribut: **EICH** [m NN]

Hierbei werden Potentiale eines Soll-Zustandes für Knoten eingegeben. Die Eichpotentiale werden für die iterative Anpassung der Durchlässigkeiten (Kalibrierung) benötigt sowie eventuell für die Berechnung von Startmächtigkeiten.

Die Eichpotentiale können bei der instationären Rechnung als Potentiale des Anfangszustandes zum Zeitpunkt t = 0 übernommen werden.

3.2.3.6.3 Feste Potentiale

Attribut: **POTE** [m NN]

Potentiale können an einzelnen Knoten vorgeschrieben werden. Dies ist meist nur dort sinnvoll, wo die Zu- und Abflussmengen nicht genau bekannt sind (z.B. für den Netzrand oder bei Vorflutern mit sehr gutem Grundwasserkontakt). Feste Potential-Randbedingungen können instationär geändert werden (instationäre POTE-Daten).

Für jede Strömungsberechnung muss an mindestens einem Knoten ein festes Potential definiert sein, sonst ist das Gleichungssystem singulär (das physikalische Problem nicht eindeutig definiert).

3.2.3.6.4 Gleiche unbekannte Potentiale

Attribut: **GLEI** [-]

Zur Festlegung der Lage einer Potentiallinie (Grundwassergleiche), deren Wert unbekannt ist, werden Knoten angegeben, die bei der Modellrechnung alle den gleichen Potentialwert erhalten.

- Bei Vertikalmodellen ist dies z.B. sinnvoll bei Förderbrunnen, deren Entnahme bekannt ist oder variiert werden soll. Alle Knoten entlang des Brunnens unterhalb des Wasserspiegels sollen dabei gleiches Potential aufweisen. Diesen Knoten wird das Attribut GLEI mit dem Wert 0 zugewiesen.
- Bei Horizontalmodellen kann die Datenart GLEI an den Uferknoten eines Sees vorgegeben werden, wenn sich der Wasserspiegel dieses Gewässers abhängig vom Grundwasserstand verändert oder unbekannt ist.
- Bei 3D-Modellen werden gleiche Potentiale z.B. an vollkommenen Brunnen angesetzt. Über die Tiefe sollen in diesem Fall die Potentiale gleich sein.
- Im Übergangsbereich 2D-3D eines bereichsweisen 3D-Modells werden für die Grenzknotenschicht über die Tiefe gleiche Potentiale angesetzt (vgl. Kapitel Aufbau 2D/3D-Modell).

Die Knoten einer Liste erhalten gleiches Potential. Eine Liste ist abgeschlossen, wenn keine Fortsetzungszeile folgt (Spalte 80 = Blank)

Der Wert in Spalte 1 bis 14 kann dazu benutzt werden, um zwischen zwei Knoten eine konstante Potentialdifferenz vorzuschreiben [in m]. Die Werte der Knotenpotentiale selbst bleiben weiterhin unbekannt. Sie werden jedoch so ermittelt, dass die Differenz der Potentiale gleich dem vorgeschriebenen Wert ist.

Beispiel:

```
GLEI ks3 : GLEICHE POTENTIALKNOTEN
       0.00000      64-    65,    67,    66,    69,    68,    71-    73,
       0.00000      75,    74,
```

Die Knoten von 64 bis 69 und 71-73 erhalten gleiches Potential. Die Knoten 74 und 75 erhalten ebenfalls gleiches Potential, das jedoch nicht mit dem Potential der anderen Knoten übereinstimmen muss. Es können also mehrere verschiedene Datensätze eingegeben werden.

3.2.3.7 Sickerlinienknoten

Attribut: **SICK** [-] (nur bei Vertikalmodellen und 3D-Modellen)

Bei dieser Datenart werden Knotennummern einer möglichen freien Sickerlinie eingegeben. Die Eingabe eines Wertes (Spalte 1 bis 14 der Modelldatei) ist überflüssig.

Der Austrittspunkt der freien Oberfläche bei einem Brunnen oder einem Damm liegt in der Natur meist über dem Wasserspiegel. Die Strecke dazwischen bezeichnet man als freie Sickerlinie. Die freie Sickerlinie wird automatisch ermittelt, wenn mit SICK die Knoten des Randbereiches eingegeben werden, in dem der Austrittspunkt der freien Oberfläche liegt.

Die Berechnungsprogramme behandeln die Sickerknoten zuerst mit Festpotentialknoten (Potential = Lagehöhe) und schalten (iterativ) bei Sickerknoten, an denen aus der Festpotentialrandbedingung eine einströmende Menge resultiert, auf q=0 als Randbedingung um. Sickerrandbedingungen können instationär an- und abgestellt werden (instationäre SICK-Daten).

Zurzeit ist eine Berechnung mit Sickerrandbedingung nur mit dem Berechnungsmodul SITRA möglich!

3.2.3.8 Temperaturen

Für den Wärmetransport werden die Attribute der Stoff-Konzentrationen verwendet.

Attribut: **AKON** [K] = Anfangstemperaturen

Bei instationären Wärmetransportberechnungen muss über die Datenart AKON ein Anfangszustand festgelegt werden. Die Eingabe der Anfangstemperaturen erfolgt knotenweise.

Attribut: **1KON** [K] = feste Temperaturen

Mit 1KON können feste Temperaturen an einzelnen Knoten fest vorgeschrieben werden (Randbedingung 1. Art). 1KON Randbedingungen können instationär geändert werden (instationäre 1KON-Daten).

Attribut: **KONZ** [K] = Zufluss-Temperaturen

Mit der Datenart KONZ können eingegebenen Zuflüssen (aus KNOT, FLAE, RAND, RANQ, RANX) und berechneten Zuflussmengen (Leakagemengen, Reaktionsmengen aus festen Potentialen) Temperaturen zugeordnet werden. Zuflussmengen, an denen keine Temperaturen definiert sind, erhalten automatisch die Zuflusstemperatur 0 K. Die Eingabe erfolgt knotenweise. KONZ Randbedingungen können instationär geändert werden (instationäre KONZ-Daten).

3.2.3.8.1 Wärmeproduktionsrate

Attribut: **QKON** [W] (nur bei Wärmetransportberechnung)

Die Wärmeproduktionsrate ergibt sich aus der Wärmemenge, die in 1 m³ Material in einer Sekunde erzeugt wird (z.B. durch Reibung oder radioaktiven Zerfall). In SPRING wird QKON in der Einheit [W] eingegeben, was sich auf 1 m³ umgebendes Material (Wasser und Matrix) bezieht.

Mit der Datenart QKON kann an einzelnen Knoten eine feste Wärmeproduktionsrate definiert werden. QKON Randbedingungen können instationär geändert werden (instationäre QKON-Daten).

3.2.3.9 Verformungsparameter

Attribute: **RLAX** (Randlast in X-Richtung), **RLAY** (Randlast in Y-Richtung), **VERX** (feste Verformung in X-Richtung), **VERY** (feste Verformung in Y-Richtung)

Die gekoppelte Strömungs-Rissfortschrittsberechnung wird mit Hilfe der beiden Programmsysteme FRANC2D und SPRING durchgeführt.

3.2.3.10 Versickerungsmulde

Attribut: **MULD** [m²] (nur Horizontal- und 3D-Modelle)

Es handelt sich um ein Attribut, das bei der Berechnung der instationären Neubildungsraten genutzt wird. Der angegebene Wert gibt die versiegelte Fläche in m² an, die an die Versickerungsmulde angeschlossen ist. Dabei kann eine Mulde aus mehreren Elementen bestehen, auf die die angegebene Fläche dann verteilt wird.

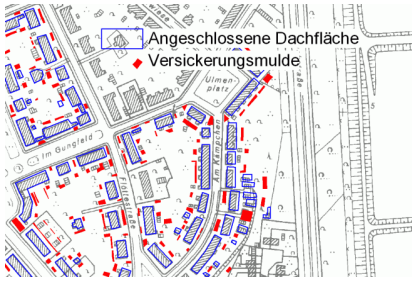


Abb. 42: Anwendung des Attributs MULD

Die Darstellung verdeutlicht die Nutzung des Attributs MULD: Die Dachflächen und sonstigen versiegelten Flächen eines Grundstücks (blau) führen ihr Niederschlagswasser zu den entsprechenden Versickerungsbereichen (rot) ab.

Vorflutparameter zur Simulation der Interaktion zwischen Grundwasser und Oberflächengewässern

Attribute: **VKST** (Manning/Strickler-Beiwert [$m^{1/3}/s$]), **VBRT** (benetzter Umfang [m]), **VGRD** (Sohlgefälle [Promille]), **VKNO** (Zufluss an einem Gewässerknoten [m³/ZE]), **VINZ** (Inzidenzen der Gewässerknoten [-]), **VSYS** (Inzidenzen der Gewässersysteme [-])

(nur Horizontal- und 3D-Modelle)

SPRING kann bei der Strömungssimulation eine automatische Abschätzung der Gewässerspiegelhöhen (stationär und instationär) durchführen.

Dafür müssen lediglich einzelne Gewässerabschnitte oder das gesamte, vernetzte Gewässersystem vereinfacht über den benetzten Umfang (VBRT), Sohl-Gefälle (VGRD) und Manning-Strickler-Beiwert (VKST) parametrisiert werden. Diese drei Parameter werden zur Berechnung der Wasserstände in den Vorflutern benötigt. Sie beziehen sich jeweils auf eine Elementkante.

Der Parameter VKNO ist ein zusätzlicher Zufluss an Knoten eines Gewässersystems. Er wird bei der Ermittlung der Durchflussmengen berücksichtigt, die Menge wird auf die Zeiteinheit der Modelldatei bezogen. VKNO kann instationär geändert werden.

Das Speichern der Gewässersysteme geschieht analog zu 1D-Kluftsystemen. Mit dem Attribut VINZ wird eine Inzidenztabelle für die betroffenen Elementkanten aufgestellt, die wiederum durch das Attribut VSYS zu Gewässersystemen zusammengefasst werden. Die Attributzuweisung erfolgt kantenweise, also für die unter VINZ gespeicherten 1D-Elemente.

Es erfolgt automatische eine Aufteilung der Mengen in gleiche Anteile in Fließrichtung oder die Anteile können benutzerdefiniert in der Datei sitra_vsys.txt definiert werden (S. 33).

3.2.3.11 Zuflüsse, knotenweise

Attribut: **KNOT** [m³/ZE]

Das Attribut KNOT bezieht sich auf Ein-/Ausflüsse an einzelnen Knoten (z.B. Brunnen). Einflüsse sind positiv, Ausflüsse negativ. KNOT Randbedingungen können instationär geändert werden (instationäre KNOT-Daten). In einem 3D-Modell ist darauf zu achten, dass das Attribut KNOT immer im gesättigten Bereich angesetzt wird. Dies kann über gleiche Potentiale (Attribut GLEI) gewährleistet werden.

Bedeutung der Spalte 16 in der Modelldatei:

- Blank = Wert hat die Einheit m³/Knoten/ZE, alle Knoten der Nummernliste erhalten den Ein-/Ausfluss zugewiesen.
- '/' = Wert hat die Einheit m³/alle Knoten/ZE, d.h. der Wert ist ein Gesamtwert, der auf alle Knoten der Nummernliste gleichmäßig verteilt wird.

Beispiel:

```
KNOTENEIN-/AUSFLUESSE
```

```
 150.      80,    97-    99
-200. /   106,   105,
```

Für die einzelnen Knoten ergeben sich die folgenden Werte: 80, 97, 98, 99 je 150 m^3/ZE Zufluss; 105 und 106 je -200 / 2 = -100 m³/ZE Ausfluss.

3.2.3.12 Zuflüsse, streckenweise, über den Rand

Attribute: **RAND** (für Menge (m³/ZE) pro lfd. m oder m²), **RANQ** (für Menge (m³/ZE) eines gesamten Polygonzugs), **RANX** (für Menge (m³/ZE) pro lfd. m(x0) oder m(x)*m)

Mit den Attributen RAND, RANQ und RANX können entlang einer Strecke Ein- und Ausflüsse vorgegeben werden. Einflüsse sind positiv, Ausflüsse negativ anzusetzen.

Bedeutung der Spalte 16 in der Modelldatei:

'*' = bei der Umrechnung der Menge auf Knotenwerte wird die Mächtigkeit berücksichtigt (nur bei Horizontalmodellen zurzeit möglich).

RAND ohne '*':

- Die eingegebene Menge ist pro lfd. Meter Polygonzug zu verstehen. Dabei berechnet sich die Streckenlänge aus dem Abstand der Knoten. Für jeden Knoten des Polygonzugs wird passend zu seiner anteiligen Streckenlänge ein entsprechender Zu- bzw. Abfluss berechnet.

RAND mit '*':

- Die eingegebene Menge ist pro m² zu verstehen. Dabei berechnet sich die Fläche aus dem Abstand der Knoten multipliziert mit der Querschnittsbreite (die Mächtigkeiten der an die Seite angrenzenden Elemente werden gemittelt). Für jeden Knoten des Polygonzugs wird passend zu seiner anteiligen Fläche ein entsprechender Zu- bzw. Abfluss berechnet.

RANQ ohne '*':

- Die eingegebene Menge ist eine Gesamtmenge für den Polygonzug (m). Die Gesamtmenge wird auf die Knoten des Polygonzugs passend zu den anteiligen Streckenlängen verteilt.

RANQ mit '*':

- Die eingegebene Menge ist eine Gesamtmenge für eine Fläche (m²). Die Fläche wird aus der Streckenlänge des Polygonzugs multipliziert mit der Querschnittsbreite (Mächtigkeit) berechnet. Die Gesamtmenge wird auf die Knoten des Polygonzugs passend zu den anteiligen Flächen (Strecke * Mächtigkeit) verteilt.

RANX ohne '*':

- Die eingegebene Menge ist pro lfd. Meter x-Koordinate zu verstehen. Dabei berechnet sich die Streckenlänge im Gegensatz zur Datenart RAND nur aus dem Abszissen-Abstand (x-Koordinaten) der Knoten. Für jeden Knoten des Polygonzugs wird passend zu seiner anteiligen Streckenlänge ein entsprechender Zu- bzw. Abfluss berechnet.

RANX mit '*':

- Die eingegebene Menge ist pro lfd. Meter x-Koordinate * m zu verstehen. Dabei berechnet sich die Fläche im Gegensatz zur Datenart RAND nur aus dem Abszissen-Abstand (x-Koordinaten) der Knoten, multipliziert mit der Querschnittsbreite (Mächtigkeit berechnet als Mittelwert der Seiten angrenzender Elemente). Für jeden Knoten des Polygonzugs wird passend zu seiner anteiligen Fläche ein entsprechender Zu- bzw. Abfluss berechnet.

In der folgenden Abbildung ist ein Teilbereich eines Modells mit verschiedenen Randzuflüssen dargestellt. Der Ausschnitt aus der *.net-Datei bezieht sich auf diese Abbildung.

Beispiel:

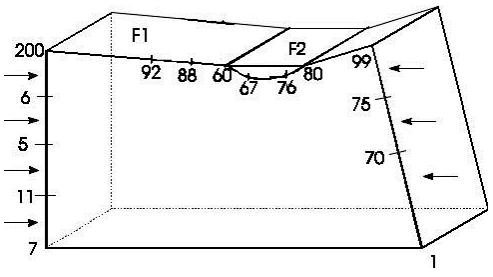


Abb. 43: Randzu-/abflüsse

```
         20.00     200,     6,     5,    11,     7
          0.50 *   200,    92,    88,    60,
RANQ
        300.00       1,    70,    75,    99,
RANX
          1.00 *    60,    67,    76,    80,
```

Über den linken Rand (Knoten 200, 6, 5, 11 und 7) ist ein Randzufluss von 20 m³/m/ZE mit dem Attribut RAND vorgegeben.

Eine Flächenversickerung für die Fläche F1 mit 0.5 m³/m²/ZE ist als Attribut RAND eingegeben. F1 berechnet sich aus dem Abstand der Knoten 200, 92, 88 und 60 multipliziert mit der Querschnittsbreite (Mächtigkeit).

Der Randzufluss über den rechten Rand (Knoten 1, 70, 75, und 99) von insgesamt = 300 m³/ZE ist als Attribut RANQ eingegeben.

Eine Flächenversickerung für die Fläche F2 (Knoten 60, 67, 76 und 80) von 1.0 m³/m²/ZE ist als Attribut RANX eingegeben. F2 kann z.B. der Wasseroberfläche eines Flusses entsprechen, deren Versickerungsrate sehr oft in m³/km²/ZE angegeben wird. Diese Einheit wird auf m³/m²/ZE umgerechnet. Die Knoten 200 und 60 erhalten automatisch zwei Anteile (Knoten 200 von den beiden RAND-Eingaben, Knoten 60 aus der 0.5 RAND-Eingabe und der RANX-Eingabe).

3.2.4 Hilfsdaten zur weiteren Auswertung und Darstellung

Hierzu gehören Markierungen in den Plots und Textzeilen sowie knoten- und elementbezogene Angaben zur weiteren Auswertung der berechneten Ergebnisse.

3.2.4.1 Beliebiges Attribut

Attribute: **KKKK** (Knotendaten), **EEEE** (Elementdaten)

Zu Darstellungszwecken oder um Verschneidungen mit Rechenergebnissen durchführen zu können, kann man mit den Attributen KKKK bzw. EEEE beliebige Daten eingeben. Diese Daten werden in die Hintergrunddateien geschrieben, d.h. sie werden bei der Modellprüfung erfasst.

3.2.4.2 Bilanzbereiche

Attribute: **BILK** [-] (knotenbezogen), **BILE** [-] (elementbezogen)

Der eingegebene Wert (Spalte 1 bis 14 der Modelldatei) wird als ganzzahlige Nummer eingelesen und zur Identifizierung der Bilanzgruppen verwendet. Nachkommastellen werden nicht berücksichtigt! Die Nummern werden ab Spalte 17 eingegeben. Jede abgeschlossene Nummernliste bildet eine Bilanzgruppe.

Unter der Datenart BILK können Knoten mit vorgeschriebenem Potential und / oder Leakagerandbedingung und / oder Sickerrandbedingung angegeben werden. In den Berechnungsprogrammen werden die Reaktionsmengen bzw. Leakagemengen oder Sickermengen dieser Knoten in der Ausgabedatei aufgelistet und die Mengen summiert. Es können verschiedene Bilanzknoten-Gruppen angegeben werden. Knoten, die keine Potential-, Leakage- oder Sicker-Knoten sind, werden ignoriert. Die Bilanzbereiche können über die eingegebene Nummer in der Ausgabedatei identifiziert werden.

Unter der Datenart BILE können Elemente mit Leakagerandbedingung angegeben werden. In den Berechnungsprogrammen werden die Leakagemengen dieser Elemente in der Ausgabedatei aufgelistet und die Mengen summiert. Es können mehrere verschiedene Bilanzelement-Sätze angegeben werden. Elemente, die keine Leakage-Elemente sind, werden ignoriert. Die Bilanzbereiche können über die eingegebene Nummer in der Ausgabedatei identifiziert werden.

Bilanzbereiche bieten sich dort an, wo Massenbilanzen über bestimmte (Potential-) Randabschnitte, Vorfluter oder Elementleakage-Bereiche für mehrere Simulationsrechnungen gebildet werden sollen.

3.2.4.3 Kontrolllinien

Attribut: **KONT** [-]

Die Eingabe eines Wertes (Spalte 1 bis 14 in der Modelldatei) entfällt, die Nummern werden ab Spalte 17 eingegeben. Jede abgeschlossene Nummernliste bildet eine Kontrolllinie.

Mit Hilfe von Kontrolllinien können Bilanzen für Durchflussmengen entlang der Elementränder und Elementdiagonalen aufgestellt werden. Es müssen dabei die Knotennummern eingegeben werden, die die Kontrolllinie festlegen. Eine Kontrolllinie kann auch geschlossen sein. Errechnet werden die Durchflüsse für die einzelnen Elementränder bzw. Diagonalen, sowie für jede Kontrolllinie ein Gesamtwert. Damit können z.B. die Wassermengen berechnet werden, die aus einem bestimmten Einzugsgebiet einem Förderbrunnen zufließen. Es können beliebig viele Kontrolllinien eingegeben werden.

3.2.4.4 Markierungen

Attribut: **MARK** [-]

Mit dem Attribut MARK können einzelne Knoten oder Elementmittelpunkte mit Symbolen versehen oder mit einer Linie verbunden werden. Markierungen an Elementmittelpunkten können nur durch Editieren der *.net-Datei bzw. der *.3d-Datei zugewiesen werden. Hierfür muss der eingegebene Wert negativ sein.

Vom eingegebenen Wert wird nur der ganzzahlige Anteil als Kennzahl ausgewertet. Die Kennzahlen haben folgende Bedeutung:

Wert < 0: die Nummernliste enthält nur Elementnummern, in deren Mitte die Markierung gekennzeichnet wird.

Wert > 0: die Nummernliste enthält nur Knotennummern.

Bei Verbindungslinien werden die Punkte in der Reihenfolge verbunden, wie sie eingegeben wurden. Eine abgeschlossene Nummernliste stellt eine Linie dar.

Wert +/-1 → Quadrat an einem Knoten / im Elementmittelpunkt (□)

Wert +/-2 → Achteck an einem Knoten / im Elementmittelpunkt (⯃)

Wert +/-3 → Dreieck an einem Knoten / im Elementmittelpunkt (△)

Wert +/-4.→ Kreuz an einem Knoten / im Elementmittelpunkt (+)

Wert /-10 → Markierungslinie zwischen Knoten / Elementen

Wert +/-(100+X) → PLX-Markertyp X an einem Knoten / im Elementmittelpunkt

Von den 36 möglichen Markersymbolen werden nur die ersten 4 mit einem Wert MARK = 1, 2, 3 oder 4 direkt in der Benutzeroberfläche oder nach der Ploterstellung dargestellt (s. folgende Abbildung):

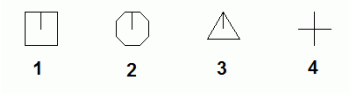


Abb. 44: Darstellung des Attributs MARK mit dem Wert 1, 2, 3 oder 4

Alle Symbole können mit dem Attributwert MARK = 100+X dargestellt werden:

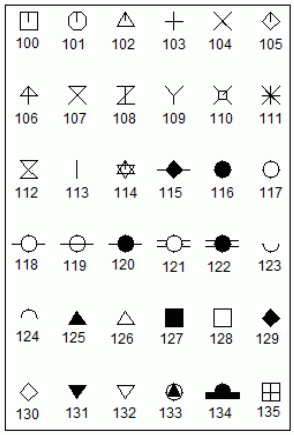


Abb. 45: Mögliche Marker-Symbole in SPRING

Im Plotmodus von SPRING können die Knoten- oder Elementmarkierungen auch direkt verändert werden.

Dazu muss zunächst über den Menüpunkt *Ansicht → Symbolleisten → Objekt-Attribute* die passende Symbolleiste eingeblendet werden. Durch Aktivieren der Markerauswahl erscheinen alle möglichen Markertypen, aus denen der gewünschte Typ festgelegt wird. Nach Aktivieren des Buttons *Objekteigenschaften zuweisen* und Auswahl des Knotens wird der Marker dem Knoten zugewiesen oder ein vorhandener Marker geändert.

Beispiel:

```
MARKIERUNGEN
          -3.0     111-   114,    14
         133.0      99
           1.0      23-    25
```

```
10.01      23-    25,    33
10.02      99,    88,    75
```

Die Elemente 111, 112, 113, 114, 14 werden mit einem Dreieck markiert. An den Knoten 99 wird ein Polymarker vom Typ 33 (gefülltes Dreieck im Kreis) geplottet. Die Knoten 23, 24 und 25 werden mit einem Quadrat gekennzeichnet und zusätzlich mit einer Linie verbunden. Außerdem wird durch die Knoten 99, 88 und 75 eine Verbindungslinie gezogen.

3.2.4.5 Potentialwertausgabe

Attribut: **PRAN** [-]

Mit dieser Datenart kann eine Liste von Knoten angegeben werden, die zusammen mit dem berechneten Potential von den Berechnungsprogrammen in die jeweilige Ausgabedatei geschrieben werden. Das typische Anwendungsgebiet ist die Vorbereitung einer Teilgebietsrechnung, wenn von einem großräumigen Modell Ergebnisse als Randbedingungen für ein Teilgebiet übernommen werden sollen.

3.2.4.6 Texte

Attribut: **KTXT** (knotenbezogen), **ETXT** (elementbezogen)

Mit diesen Attributen können knoten- bzw. elementbezogene Texte von max. 20 Zeichen eingegeben werden. Abweichend vom sonstigen Einleseformat werden hier pro Zeile eine Knoten- bzw. Elementnummer (I10) und dann der zugehörige Text (A20) angegeben. Die Texte können als Orientierungshilfen während der Bearbeitung dienen (Attribute in SPRING) und sie können geplottet werden.

3.2.5 Instationäre Datenarten

Es können generell nur die Datenarten in der instationären Eingabedatei angegeben werden, die in den folgenden Kapiteln aufgeführt sind (alphabetische Reihenfolge).

3.2.5.1 Abrisshöhen

Attribut: ABRI

Erläuterungen hierzu finden sich bei den instationären Vorflutpotentialen.

3.2.5.2 Bergsenkungen

Attribut: BERG

Die Werte für instationäre Bergsenkungen werden unter dieser Kennung definiert. In einem Zeitpunkt nicht belegte Knoten erhalten den Wert 0.0 als Senkungsbetrag. Instationäre Bergsenkungen werden an Zwischenzeitpunkten automatisch interpoliert. Sie werden bei der Berechnung von den Unterflächen, Z-Koordinaten, Geländeoberflächen und Vorflutpotentialen abgezogen!

Die Angabe der instationäre Bergsenkungen bezieht sich immer auf den Startzeitpunkt der instationären Berechnung. Eine Absenkung von 10.0 m auf 9.0 m und danach auf 7.0 m wird also durch einen Bergsenkungsbetrag von 1.0 m (10.0 - 1.0 = 9.0) und danach um 3.0 m (10.0 - 3.0 = 7.0) definiert.

3.2.5.3 Flächenein-/-ausflüsse

Attribut: EFLA, Einheit: [m³/Element/Zeiteinheit]

In der instationären Eingabedatei können mit der Datenart EFLA die mit FLAE in der Modelldatei eingegebenen Werte verändert bzw. erstmalig Werte für die Elementversickerung/-entnahme gesetzt werden (entspricht Datenart FLAE aus der Modelldatei ohne '*' in Spalte 16).

Attribut: FLAE, Einheit: [m³/m²/Zeiteinheit]

Mit der Datenart FLAE in der instationären Eingabedatei können die mit FLAE in der Netzdatei eingegebenen Werte verändert bzw. erstmalig Werte für die Neubildungsraten gesetzt werden (entspricht Datenart FLAE aus der Modelldatei mit "*“ in Spalte 16).

Die Zeiteinheit bezieht sich auf die Angabe in der instationären Eingabedatei.

3.2.5.4 Flutungsparameter

Attribute: HMAX [m], MENG [m³/ZE], HT_0 [m]

Die Werte für Flutungsparameter (nur mit SITRA einsetzbar) werden mit der Kennung HMAX für Stauzieldefinitionen und MENG für Zugabemengen geändert. Dies darf nur dann durchgeführt werden, wenn für die entsprechende Grube bereits im Netz Stauziel und Zugabemenge definiert wurden. Zur Kennzeichnung der Grube, für die die Änderung gelten soll, ist anstelle einer Knoten bzw. Elementnummer, die unter GRUB verwendete Bereichsnummer anzugeben. Soll eine Stauzieldefinition aufgehoben werden, ist die Bereichsnummer mit negativem Wert anzugeben. Der Wert spielt dann keine Rolle, muss jedoch wegen Formtreue angegeben werden. Eine genaue Erläuterung dieser Parameter findet sich im "How To – Flutungssimulation von Grubenbauwerken" (S. 441).

Mit dem Attribut HT_0 kann im ersten Zeitschritt der instationären Berechnung eine Anfangseinstauhöhe bei der Flutung angegeben werden.

3.2.5.5 Knotenein-/-ausflüsse

Attribut: KNOT, Einheit: [m³/Knoten/Zeiteinheit]

Die Eingaben erfolgen in der definierten Zeiteinheit für die Mengen. Diese kann unterschiedlich zu der Zeiteinheit in der Modelldatei gesetzt werden. Soll ein Knoten den Wert 0 erhalten, so muss dieser Wert explizit eingegeben werden, denn ohne Eingabe wird mit dem Wert des letzten Zeitpunktes weitergerechnet.

3.2.5.6 Konzentrationen/Temperaturen

In der instationären Eingabedatei können die Attribute 1KON, KONZ und QKON vorgegeben werden. Die Einheit ist: [?/Knoten]. Das “?“ bezieht sich auf die Konzentrationseinheit in der Modelldatei: Ist dort die Konzentration z.B. in [kg/kg] angegeben, muss die Konzentration in der instationären Eingabedatei entsprechend angegeben werden. Bei der Wärmetransportberechnung ist die Einheit [K].

Feste Konzentrationen:

Attribut: 1KON [s.o.]

Die Knotenwerte für feste Konzentrationen/Temperaturen können verändert werden. Ein Abschalten der festen Konzentrationen/Temperaturen (wie bei den Potentialen) ist (zurzeit noch) nicht möglich!

Quellkonzentrationen

Attribut: KONZ [s.o.]

Die Werte für die Konzentrationen/Temperaturen von Zuflussmengen können hier erstmalig gesetzt oder verändert werden. Zuflusskonzentrationen/-temperaturen können 'abgestellt' werden, indem man den Konzentrationswert/Temperaturwert auf 0 setzt.

Wärmeproduktionsrate

Attribut: QKON, Einheit: [W/Knoten]

Die Werte für die Wärmeproduktionsrate können hier erstmalig gesetzt oder verändert werden. Die Einheit ist [W] und bezieht sich auf 1 m³ umgebendes Material (Wasser und Matrix), unabhängig von den Einheiten, die in der instationären Eingabedatei definiert sind! Die Wärmeproduktionsrate an einem Knoten kann 'abgestellt' werden, indem der QKON-Wert auf 0 gesetzt wird.

3.2.5.7 K-Werte

Attribute: KWER, KWEV, Einheit: [m/s]

Mit der Kennung KWER kann einem Element ein neuer horizontaler K-Wert zugewiesen werden. Der K-Wert ist dann isotrop: kxx = kxy = const, Winkel=0 (auch wenn vorher durch Zuweisung mit MATE und ZONE anisotrope K-Werte eingegeben waren).

Mit der Kennung KWEV kann einem Element in einem 3D-Modell ein neuer vertikaler K-Wert zugewiesen werden.

3.2.5.8 Leakage-Beschränkung

Attribute: KMKI [m³/ZE/m], KMKE [m³/ZE/m²], (Polygonzug, knotenbezogen)

Wenn in der Modelldatei In- oder Exfiltrationsbeschränkungen für polygonzugbezogene Leakage-Beziehungen definiert sind (Attribute MXKI oder MXKE), können diese über die instationären Attribute KMKI bzw. KMKE in der instationären Eingabedatei geändert werden.

3.2.5.9 Leakagekoeffizienten

Attribut: LEKN, Einheit: [m²/Knoten/Zeiteinheit]

Die für die Leakage-Berechnung verwendeten Knoten-Leakagekoeffizienten können verändert werden. Die Eingaben erfolgen in der definierten Zeiteinheit für die Mengen. Diese kann unterschiedlich zu der Zeiteinheit in der Modelldatei gesetzt werden.

3.2.5.10 Mächtigkeiten

Attribute: KMAE, MAEC, Einheit: [m]

Für 2D-Modelle, die mit INSTAT berechnet werden, lassen sich mit der Kennung MAEC instationäre Elementmächtigkeiten festsetzen. Wird ein 2D-Modell mit dem Modul SITRA berechnet, so muss die Kennung KMAE zur instationären Festsetzung von Knotenmächtigkeiten verwendet werden.

3.2.5.11 Potentiale, feste

Attribut: POTE, Einheit: [m NN]

Bereits bestehende Potentialknoten (aus der Modelldatei) können auf andere Werte gesetzt werden. Es können auch erstmals Knoten mit einem Potential belegt werden. Die Potentialrandbedingung für Knoten kann auch ganz abgeschaltet werden. Hierzu wird die Knotennummer negativ angegeben (mit beliebigem Potentialwert). In einem späteren Zeitschritt kann der Knoten auch wieder mit einem Potential belegt werden (positive Knotennummer mit entsprechendem Wert).

Dabei sind bei einer Rechnung mit Interpolation dieser instationären Randbedingungen (Absatz Beeinflussung der Zeitschritte) folgende Regeln zu beachten:

- Ist ein festes Potential angestellt und wird dann abgestellt, so muss die erste Angabe mit der negativen Knotennummer (zum Abstellen) ein 'vernünftiges' Potential haben, da dieses Potential für die Interpolation der Daten in den Zwischenzeitpunkten zwischen An- und Abstellen noch benötigt wird: Es sind z.B. die folgenden Daten in der instationären Eingabedatei festgehalten:

  Zeitpunkt 10 POTE 10.0 1 (angestellt)
  Zeitpunkt 20 POTE 5.0 -1 (abgestellt)

  Dann wird bei einer Rechnung mit Interpolation von POTE z.B. mit den Zwischenzeitpunkten 12, 14, 16 und 18 mit den Potentialen 9.0, 8.0, 7.0 und 6.0 m gerechnet und die Randbedingung wird wirklich erst im Zeitpunkt 20 (und nicht schon in den Zwischenzeitpunkten vorher) abgestellt!

- Ist ein festes Potential abgestellt, und wird dann wieder angestellt, so wird es auch tatsächlich erst zu dem in der instationären Eingabedatei angegebenen Zeitpunkt und nicht in einem vorherigen Zwischenzeitpunkt angestellt. Dabei wird sinnvollerweise in Zwischenzeitpunkten auch nicht zwischen altem ('abgestelltem') und neuem ('angestellten') Potential interpoliert!

3.2.5.12 Sickerrandbedingung

Attribut: SICK, Einheit [-]

Bereits bestehende Sickerrandbedingungen an Knoten (aus der Modelldatei) können hier abgestellt werden, in dem die entsprechende Knotennummer negativ angegeben wird. An neuen Knoten können Sickerrandbedingungen gesetzt werden (durch Angabe einer positiven Knotennummer). Der eingegebene Wert wird in beiden Fällen nicht benötigt und daher überlesen. Die Kennung SICK ist bei 2D-Horizontalmodellen nicht sinnvoll!

3.2.5.13 Vorflutpotentiale und Abrisshöhen

Attribute: VORF, ABRI, Einheit: [m]

Die für die Leakage-Berechnung verwendeten Vorflutpotentialhöhen können verändert werden. Auch das Abstellen eines Vorflutknotens ist möglich. Dies geschieht über die Eingabe einer negativen Knotennummer. Der Leakageknotenkoeffizient für diesen Knoten wird dann vom Rechenprogramm auf 0.0 gesetzt. Bei Berechnungen mit Interpolation der instationären Randbedingung VORF wird der Leakagekoeffizient 'schrittweise' auf 0.0 gesetzt. Das Wiederanstellen eines solchen Vorflutknotens ist (im Gegensatz zu POTE) nicht möglich, da die Information über den 'alten' Leakagewert verloren geht!

Eventuell in der Modelldatei angegebene Bergsenkungen werden nicht bei Vorflutpotentialen in der instationären Eingabedatei berücksichtigt! Die Eingabe entspricht also einer Eingabe in der Modelldatei mit "F" in Spalte 15. (Das hat nichts mit instationären Bergsenkungen zu tun!)

Sollen Abrisshöhen geändert werden, genügt die Angabe der Knotennummer und des neuen Wertes.

3.2.5.14 Zu-/Abgabemenge an Gewässerknoten

Attribut: VKNO [m³/ZE]

Der Zufluss oder Abfluss an einem Gewässerknoten kann instationär geändert werden. Soll ein Knoten den Wert 0 erhalten, so muss dieser Wert explizit eingegeben werden, denn ohne Eingabe wird mit dem Wert des letzten Zeitpunktes weitergerechnet.

3.2.6 Erforderliche Daten und Datenkombinationen

Jede Rechnung erfordert Daten aus den ersten drei Gruppen: Das Netz ist zu definieren, jedem Element muss eine Transmissivität zugeordnet werden und wenigstens an einer Stelle muss ein Potential oder eine Leakagerandbedingung vorgeschrieben werden, damit das Gleichungssystem nicht singulär wird.

Hierbei gibt es mehrere Möglichkeiten der Eingaben, die elementweise unterschiedlich sein können. Für Horizontal- und Vertikalmodelle sind dies:

1. K-Werte und Mächtigkeiten

2. K-Werte und Unter- und Oberflächen (Horizontalmodell)

Bei isotropem Material bieten sich diese beiden Möglichkeiten an. Bei 2. werden die Mächtigkeiten aus Unter- und Oberflächen automatisch ermittelt.

3. Transmissivitäten mit/ohne Mächtigkeiten bzw. K-Werte.

Werden keine Mächtigkeiten eingegeben, so werden diese zur Berechnung der Geschwindigkeiten konstant = 1.0 m gesetzt.

4. Materialdaten, Zonenkennzahlen, Mächtigkeiten

5. Materialdaten, Zonenkennzahlen, Unter- und Oberflächen (Horizontalmodell).

Mit den Kombinationen 4. und 5. kann man anisotropes Material datenmäßig erfassen. Jedes Element erhält eine Zonenkennzahl. Dieser Zonenkennzahl werden die Materialdaten zugeordnet (k_{fx}, k_{fy}, Winkel).

6. K-Werte, Unterflächen und Eichpotentiale (Horizontalmodell)

7. K-Werte, Unterflächen und Geländehöhen (Horizontalmodell)

Die Kombinationen bedeuten, dass eine Datenart ohne die andere nicht sinnvoll ist und zu Fehlern führt. Die Berechnung bzw. Eingabe dieser Daten erfolgt elementweise, d.h. im ganzen Gebiet können die Eingabemöglichkeiten 1. bis 6. gleichzeitig genutzt werden. Man kann z. B. in einem anisotropen Teilgebiet die Eingabe 4. benutzen und im ganzen übrigen Gebiet die Eingabe 1. Jedoch sind mehrere Eingaben zu einem einzelnen Element nicht möglich. Der K-Wert 0.0, die Transmissivität 0.0 und die Mächtigkeit 0.0 sind nicht erlaubt (kleinen Wert ansetzen oder Element löschen).

Angaben über Ein-/Ausflüsse sind nicht unbedingt erforderlich.

Achtung: keine Eingabe ist gleichbedeutend mit der Ein-/Ausflussmenge = 0.0.

3.3 Ortsdiskretisierung

Definition:

Das Untersuchungsgebiet wird diskretisiert, indem es in einfache Teilgebiete, die so genannten Elemente, in endlicher (finiter) Anzahl, zerlegt wird.

3.3.1 Theorie der Ortsdiskretisierung

Ortsdiskretisierung bedeutet: Ein Untersuchungsgebiet wird in einzelne, geometrisch leicht erfassbare Teilbereiche zerlegt, für die mathematische Ansatzfunktionen definiert werden. Diese Teilbereiche mit den entsprechenden Ansatzfunktionen sind die finiten Elemente, die zur Vernetzung des Untersuchungsgebiets führen. Die Ansatzfunktionen werden durch so genannte Stützstellen, dies sind die Elementknoten, definiert.

Die Ansatzfunktionen, auch Formfunktionen genannt, sind Funktionen, die bei der Methode der finiten Elemente den realen Funktionsverlauf über dem Element bestmöglich annähern. Bedingung dabei ist die Erfüllung der Stetigkeitsbedingung. Da die Knotenpunkte von jeweils mindestens zwei Elementen geteilt werden, wird bei Verwendung der Werte in diesen Punkten die Stetigkeitsbedingung erfüllt. Der gesuchte Funktionsverlauf wird durch Interpolation der Werte in diesen Knotenpunkten näherungsweise bestimmt. Um den Funktionsverlauf **u(x, y)** durch die Knotenpunkte auszudrücken, verwendet man die Formfunktionen. Diese besitzen die Eigenschaft, im aktuellen Knoten stets 1 und in den restlichen Knoten 0 zu sein, so dass sich **u(x, y)** als Summe über die Anzahl der Knoten von $\mathbf{u_i * N_i (x, y)}$ ergibt, wobei i die Nummer des Knotens im Element und u den Wert am Knoten darstellt (abgeleitet aus Wikipedia).

Die lineare Formfunktion für das Einheitsdreieck mit den Koordinaten der drei Eckpunkte (0,0), (1,0), (0,1) sieht wie folgt aus (**linearer Ansatz**):

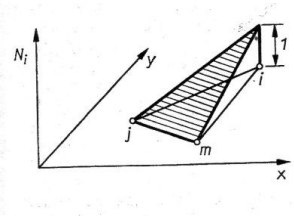


Abb. 46: Lineare Ansatzfunktion für ein Dreieck

Für Viereckelemente muss ein bilinearer Ansatz verwendet werden, da die Kante eines Viereckelements mit einer Z-Koordinate ungleich 0 keine Gerade, sondern eine gebogene Linie darstellt (folgende Abbildung):

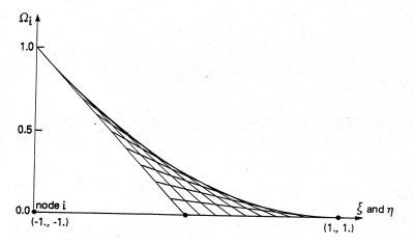


Abb. 47: Bilineare Ansatzfunktion für ein Viereck

Noch deutlicher wird die Ansatzfunktion in folgender Abbildung:

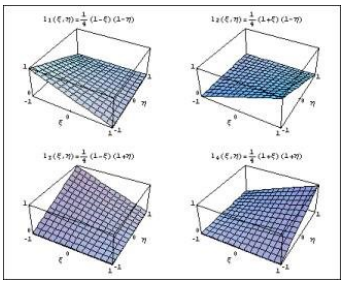


Abb. 48: Bilineare Ansatzfunktion im Viereckelement

3.3.2 Umsetzung in SPRING

Bei der Erstellung eines numerischen Grundwassermodells wird der vorher festgelegte Modellraum diskretisiert. In SPRING wird die Methode der Finiten Elemente aufgrund ihrer hohen Flexibilität in Bezug auf die lagegenaue Abbildung unregelmäßiger Strukturen und der Möglichkeit der lokalen Netzverfeinerungen eingesetzt.

In SPRING werden als Elementformen unregelmäßige Dreiecke und Vierecke im Zweidimensionalen bzw. Pentaeder und Hexaeder im Dreidimensionalen verwendet. Die Elemente können durch ihre variable Form die Geometrie der zu berücksichtigenden Strukturen stückweise linear approximieren. Die Ecken der Elemente sind die Knotenpunkte des Modells.

Insbesondere die Punkt-, Linien- und Flächenstrukturen müssen durch die Netzgeometrie abgebildet werden.

Bei der Diskretisierung dreidimensionaler Modelle ist es üblich, das horizontale Netz auf die darunter liegenden Schichten zu projizieren, um so die Elemente der einzelnen Schichten zu erzeugen. Die Lage der Knotenschichten entspricht meistens der Lage von geologischen Grenzflächen. Aus numerischen Gründen kann es manchmal erforderlich sein, Schichten weiter zu verfeinern, ohne dass eine geologische Veranlassung dafür vorliegt.

Die Diskretisierung ist stets im Hinblick auf die zu lösende Problemstellung und Datengrundlage zu wählen. Wenn in einem Modell weder Maßnahmen geplant sind, noch hydraulische Strukturen wirken, können die Knotenabstände 25 bis 50 m betragen. Je nach Modellgröße oder Fragestellung kann jedoch immer auch eine höhere Auflösung sinnvoll sein.

Die folgende Tabelle gibt eine Empfehlung für die Größe der Modelldiskretisierung in speziellen Bereichen:

	Empfohlener Knotenabstand
Brunnen	Unter 5 m
Planungsbereich	5 bis 15 m
Gewässer mit geplanten Maßnahmen	5 bis 10 m
Gewässer ohne Maßnahmen	10 bis 15 m
Kanalisation oder Dränagen	10 bis 25 m
Schifffahrtskanäle	20 bis 50 m
Modellrandbereich	30 bis 60 m

3.3.3 Sonderfall Brunnendiskretisierung

Grundwasserentnahmen an Brunnen erzeugen einen Absenktrichter, der sich mit zunehmender Annäherung an den Brunnen durch steigende Gradienten auszeichnet. Um diese Situation in einem Modell adäquat abbilden zu können, ist eine radialsymmetrische Verfeinerung des Netzes um den Brunnen erforderlich. Da der zu beschreibende Gradient mit der Annäherung an den Brunnen zunimmt, ist eine exponentielle Verfeinerung vorteilhaft. Die Parameter der Verfeinerung sind in Abhängigkeit von den hydraulischen Gegebenheiten zu wählen. So erfordern Bereiche mit geringen Durchlässigkeiten und damit einer starken Grundwasserabsenkung einen kleinen Innenradius (z.B. 2 m) aber auch nur einen kleinen Außenradius (z.B. 50 m). Bei flacheren Absenktrichtern können diese Parameter größer gewählt werden. Ausgehend von der Entfernung des Innenradius vom Brunnen werden die Knoten radialsymmetrisch mit exponentiell steigendem Abstand um den Brunnen angeordnet, bis der gewählte Außenradius erreicht bzw. überschritten wird.

Die Festlegung der Brunnenparameter erfolgt im Rahmen der Konturbearbeitung während der Netzerstellung. Durch Aufruf von *Kontur → p-Kontur bearbeiten → Brunnenparameter* erscheint nach Auswahl der entsprechenden Knoten ein Eingabefenster für die Parameter. Die folgende Abbildung zeigt den Zusammenhang zwischen den Parametern und der Elementnetzverfeinerung:

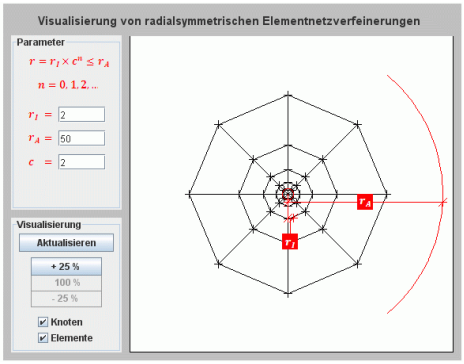


Abb. 49: Radialsymmetrische Anordnung der Netzknoten bei der Brunnendiskretisierung

Bei der Abbildung von Horizontalfilterbrunnen sind die einzelnen Stränge bei der Diskretisierung zu berücksichtigen. Jeder Strang sollte mit mehreren Netzknoten im Abstand von 5 m bis 10 m erfasst sein. Eine exponentielle Netzverfeinerung wie bei Vertikalbrunnen ist nicht erforderlich, da Grundwasserabsenkungen bei Horizontalfilterbrunnen eher flächenhaft ausgebildet sind. Die Verteilung der Gesamtentnahmemenge auf die einzelnen Netzknoten sollte nicht gleichmäßig auf alle Brunnenknoten erfolgen, sondern in der Art, dass sich an den Strängen eine möglichst gleichmäßige Potenzialverteilung ergibt.

3.3.3.1 Anwendungsbeispiel

Das Modellprinzip eines Brunnens sieht folgendermaßen aus:

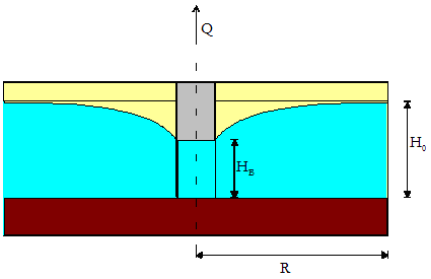


Abb. 50: Modellprinzip eines Brunnens (R = Reichweite)

Die folgende Abbildung zeigt den Ausschnitt eines Modells, wenn keine Brunnenparameter gesetzt werden:

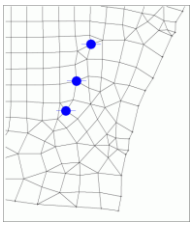


Abb. 51: FE-Netz ohne Angabe von Brunnenparametern

Für das vorliegende Beispiel wurden die Parameter R_i = 30.0 m, R_a = 150.0 m und C = 2.0 gesetzt. Nach Bestätigen des Dialogs werden die aus den Brunnenparametern resultierenden Konturpunkte um den Brunnen in der Benutzeroberfläche angezeigt, so dass der Anwender die Parameter überprüfen und gegebenenfalls ändern kann. Diese Parameter werden in der Struktur-Datei gespeichert und bei der Knotengenerierung berücksichtigt. Bei ansonsten gleicher Knoten- und Elementerzeugung sowie einer bereichsweisen Verfeinerung um die Brunnen erhält man die folgende Abbildung:

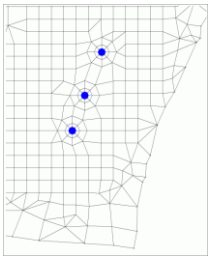


Abb. 52: FE-Netz mit Angabe von Brunnenparametern

Man sieht im Vergleich der Abbildungen deutlich die radialsymmetrische Verteilung der Netzknoten um die Brunnenknoten, ähnlich einem "Spinnennetz".

In den folgenden Vertikalschnitten (Abb. 52 und Abb. 53) sieht man am Verlauf der freien Oberfläche, wie sich durch die feinere Diskretisierung bei der Verwendung der Brunnen-Parameter die grüne Linie ähnlich dem Absenktrichter eines Brunnens verhält (untere Abbildung).

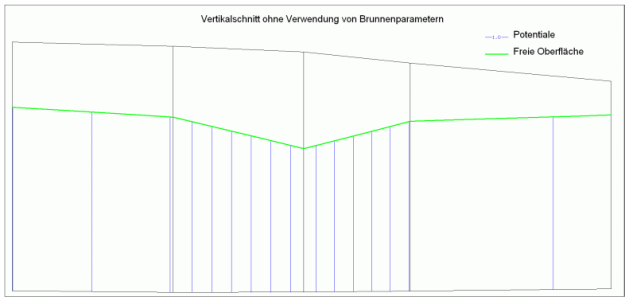


Abb. 53: Vertikalschnitt ohne Verwendung von Brunnenparametern

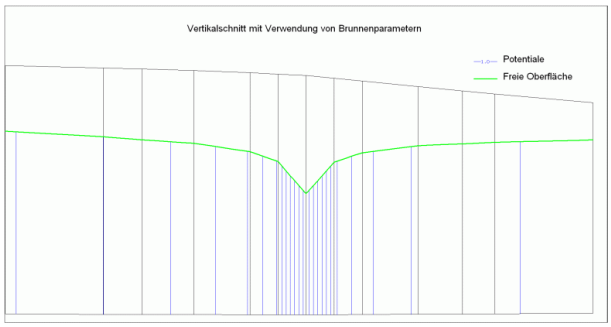


Abb. 54: Vertikalschnitt mit Verwendung von Brunnenparametern

3.3.4 Stabilitätskriterium der Ortsdiskretisierung

Die Geometrie des Netzes hat einen unerwünschten Einfluss auf die berechnete Stoffausbreitung, wenn die Elemente zu groß sind bzw. ihre Längserstreckung quer zur Strömungsrichtung liegt. Die folgende Abbildung zeigt, wie sich in Bereichen mit ungünstiger Diskretisierung die Stofffahne wesentlich stärker ausbreitet als bei feinerer Diskretisierung. Dieser Effekt wird als numerische Dispersion bezeichnet.

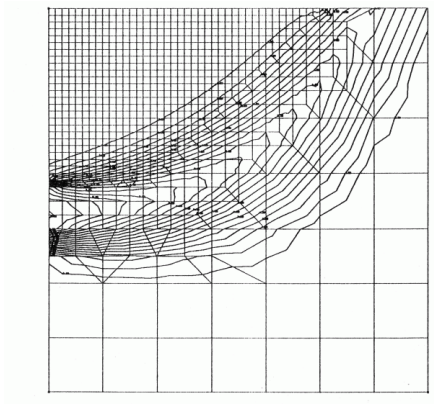


Abb. 55: Einfluss der Diskretisierung auf die Ergebnisse der Stofftransportberechnung

(aus: König, C.: Numerische Berechnung des dreidimensionalen Stofftransports im Grundwasser. – Technisch-wissenschaftliche Mitteilungen des Instituts für konstruktiven Ingenieurbau, Ruhr-Universität Bochum, 91-93, (Bochum))

Dieser Effekt kann unter Berücksichtigung der folgenden Kriterien so klein gehalten werden, dass er die natürliche Dispersion nicht übersteigt:

$$\Delta t < \frac{L}{v} \quad \text{und} \quad L < 2\alpha_L$$

L ist dabei die längste Ausdehnung eines Elements in Strömungsrichtung, α_L ist der Dispersionskoeffizient in longitudinaler Strömungsrichtung.

Oszillationen der numerischen Lösung hängen damit zusammen, dass die Transportgleichung eine Differentialgleichung mit teilweise hyperbolischem Charakter ist, was Schwierigkeiten bereitet, da die verwendeten Algorithmen primär für die Lösung von Differentialgleichungen parabolischen Typs konzipiert sind.

Ist nun der advektive Anteil am Transport groß gegenüber dem dispersiven, so überwiegt der hyperbolische Charakter der Gleichung.

Ein Maß für dieses Verhältnis gibt die Peclet-Zahl P_e, die möglichst kleiner als 2 sein sollte, damit der hyperbolische Anteil nicht zu stark überwiegt.

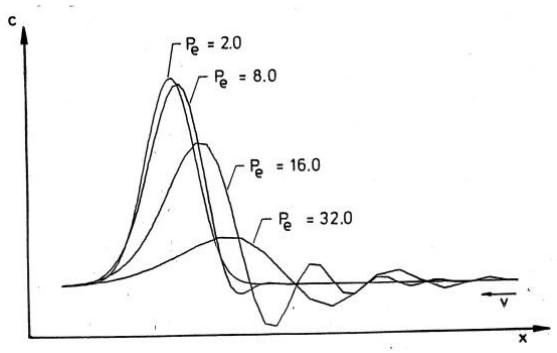


Abb. 56: Abhängigkeit zwischen Peclet-Zahl und Oszillationen (nach König, 1991)

Sie beschreibt das Verhältnis des Advektionsanteils zum Dispersionsanteil (D) in Bezug zu einer charakteristischen Länge (Kantenlänge der Elemente, Δl)

Je niedriger die Peclet-Zahlen werden, desto weniger Iterationen sind notwendig, um einen zuvor definierten Maximalwert der Residuen zu erreichen. Sobald diese dimensionslose Kennzahl den Wert 10 überschreitet, ist nicht mehr gewährleistet, dass die Lösung konvergiert. Eine optimale Ortsdiskretisierung ergibt sich bei einer Peclet-Zahl < 2.

3.4 Zeitdiskretisierung

Für instationäre Grundwassermodellrechnungen ist eine zeitliche Diskretisierung (Schrittweite zwischen den zu berechnenden Zeitpunkten) zu wählen. Die Größe einer geeigneten Zeitschrittweite hängt in hohem Maße vom zeitlichen Verlauf des zu beschreibenden Ereignisses ab. So kann die Modellierung einer Hochwasserwelle Zeitschritte in der Größenordnung von Stunden bis zu einem Tag erfordern, während für die Berechnung von Jahresgängen der Grundwasserspiegelschwankung Zeitschritte von wenigen Tagen bis zu einem Monat zulässig sind. Das Abbilden von kurzfristigen Entnahmeänderungen an Förderbrunnen kann dagegen kurz nach einer deutlichen Veränderung der Förderrate Zeitschritte im Minutenbereich erfordern, wobei in einer folgenden Phase mit unveränderten Förderraten die zunehmende Vergrößerung der Zeitschritte zulässig ist.

Um eine Beeinflussung der Modellergebnisse durch zu große Zeitschritte zu vermeiden, kann zu Beginn eines Projekts eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden, wobei ausgehend von vergleichsweise großen Zeitschritten die Zeitschrittweite so lange verkleinert wird, bis kein Unterschied zwischen den Modellergebnissen von zwei Läufen erkennbar ist. Eine weitere Verkleinerung der Zeitschrittweite würde den Rechenaufwand erhöhen, ohne eine Verbesserung der Modellergebnisse hervorzurufen.

Für die Zeitdiskretisierung der instationären Strömungsgleichung wird in SPRING ein implizites Eulerverfahren verwendet:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \mathbf{L}(p) \quad \rightarrow \quad \frac{p(t+\Delta t) - p(t)}{\Delta t} = \theta \mathbf{L}\big(p(t+\Delta t)\big) + (1-\theta)\mathbf{L}\big(p(t)\big)$$

Die instationären Randbedingungen werden dabei voreingestellt voll implizit behandelt (θ= 1.0), d.h., zur Berechnung des Zustands für den Zeitpunkt t_{n+1} werden die Randbedingungen des Zeitpunktes t_{n+1} herangezogen.

Bei Mengenrandbedingungen ist nur eine explizite Behandlung der instationären Randbedingungen möglich (θ= 0.0), d.h., zur Berechnung des Zustands für den Zeitpunkt t_{n+1} werden die Randbedingungen des Zeitpunktes t_n heran gezogen.

3.4.1 Sonderfall Transportberechnung

Für die Transportgleichung (bei Transport eines gelösten Stoffes im Fluid die Stofftransportgleichung bzw. die Energietransportgleichung bei temperaturabhängigen Problemen) führt die Diskretisierung des unsymmetrischen Operators zu einem unsymmetrischen Gleichungssystem. Dieses kann nicht mit dem iterativen PCG-Gleichungslöser gelöst werden. Daher wird bei stationärem Transport das Gleichungssystem für den Transportteil stets mit Hilfe einer LU-Zerlegung (direkter Gleichungslöser) gelöst. Dies kann bei großen Modellen mit vielen Knoten zu einem extremen Rechenzeitbedarf führen.

Für instationäre Transportprozesse wird die Zeitdiskretisierung mit Hilfe des von König ['Numerische Berechnung des dreidimensionalen Stofftransports im Grundwasser', TWM 91-13, RUB 1991] entwickelten Operatorsplitverfahrens durchgeführt. Bei Verwendung dieses Verfahrens müssen in jedem Zeitschritt für den Transportteil zwei Gleichungssysteme mit symmetrischen, positiv definiten Matrizen gelöst werden. Hier kann dann wieder der iterative Gleichungslöser verwendet werden. Sollen also für große Modelle stationäre Transportprozesse berechnet werden, so empfiehlt es sich, zur Verringerung der Rechenzeit, den stationären Zustand durch eine instationäre Rechnung (bis zum Erreichen des stationären Zustandes) zu berechnen.

3.4.2 Stabilitätskriterium der Zeitdiskretisierung

Die Courant-Zahl wird in der numerischen Strömungssimulation für die Diskretisierung zeitabhängiger partieller Differentialgleichungen verwendet:

$$\mathbf{C_o} = \left| \frac{\Delta \mathbf{t} \mathbf{v}}{\mathbf{L}} \right| \leq \mathbf{1}$$

Dabei ist Co die Courant-Zahl, v die Geschwindigkeit, $\Delta \mathbf{t}$ der diskrete Zeitschritt und L die längste Ausdehnung eines Elements in Strömungsrichtung.

Da die Obergrenze für L bereits durch die Peclet-Zahl gegeben ist und in der Regel relativ klein ist, dass auch die Zeitschrittweite $\Delta \mathbf{t}$ in Abhängigkeit der Geschwindigkeit entsprechend klein gewählt werden muss, um das Courant-Kriterium zu erfüllen.

Die folgende Abbildung zeigt den Einfluss der Courant-Zahl auf die berechnete Konzentrationsverteilung bei sonst gleichen Modellparametern:

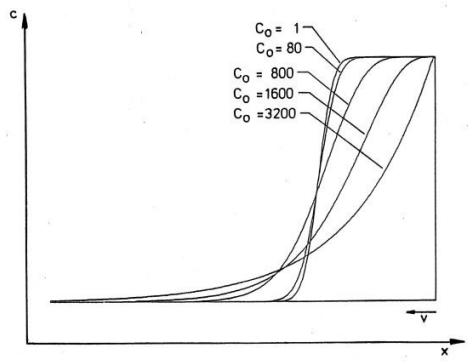
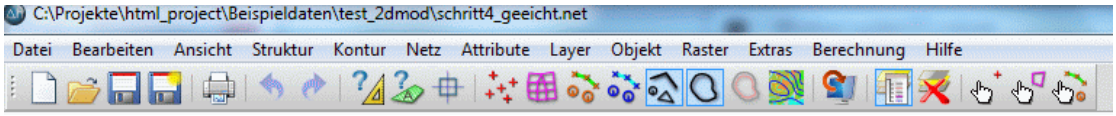


Abb. 57: Abhängigkeit zwischen Courant-Kriterium und numerischer Dispersion (König, 1991)

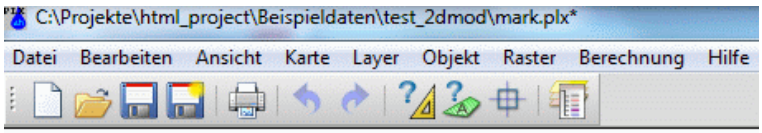
4 SPRING-Menüs

Aus der Menüleiste heraus werden sämtliche Bearbeitungsschritte in SPRING gestartet. Je nach geöffneter Datei (Modelldatei oder Plotdatei) unterscheiden sich die Menüleisten in einigen Menüpunkten. Als Beispiel sind hier die unterschiedlichen Standard-Menüleisten in Abhängigkeit der geöffneten Datei dargestellt. In den folgenden Kapiteln werden die einzelnen Menüs, Symbole und Symbolleisten beschrieben.

Menüleiste für eine Modelldatei (*.net):

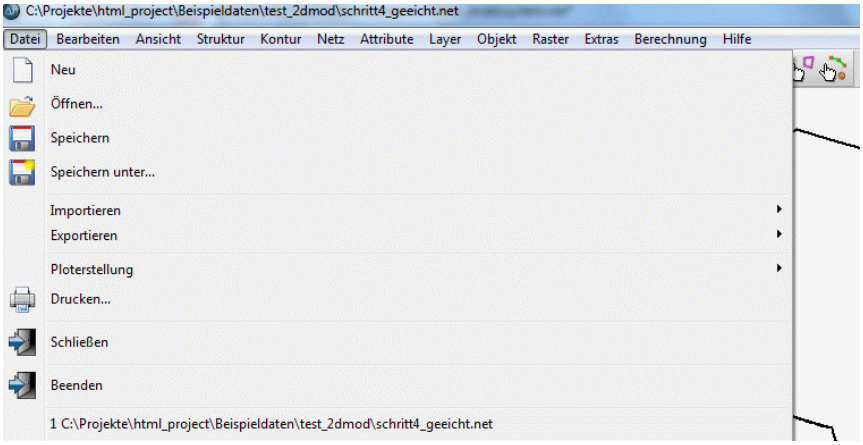


Menüleiste für eine Plotdatei (*.plx = SPRING-internes Grafikformat):



4.1 Datei

Folgende Menü-Punkte sind wählbar:



Neu

Nach Aktivieren dieses Menüpunktes öffnet sich ein Fenster, in dem die Eigenschaften des neuen Projekts festgelegt werden. Details sind im Kapitel “Aufbau eines 2D-Modells“ beschrieben.

Öffnen…

Nach Aktivieren dieses Menüpunktes erscheint ein Dateiauswahlfenster, in dem die gewünschte Datei ausgewählt werden kann. Die folgenden Datei-Formate stehen zur Wahl:

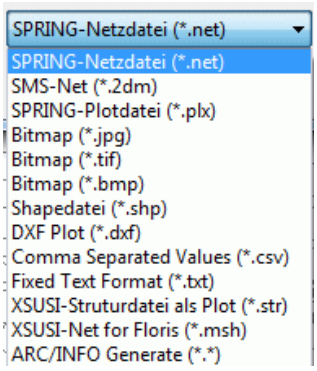


Abb. 58: Darzustellende Dateiformate in SPRING

Ist ein Projekt bereits geöffnet, besteht die Möglichkeit, eine Datei in einem der oben genannten Formate aus einem Dateiverzeichnis mittels Drag&Drop direkt in SPRING zu öffnen bzw. zu überlagern.

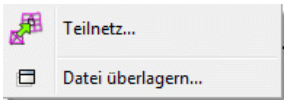
Speichern und Speichern unter…

Mittels des Menüpunktes *Speichern*, wird das Projekt oder der Plot unter dem bereits vergebenen Name abgespeichert. Mittels *Speichern unter…*, kann das Projekt (oder Plot) unter einem anderen Namen abgespeichert werden, wobei das bisherige Projekt (oder der Plot) unter dem alten Namen bestehen bleibt.

Importieren

Modelldatei:

Hier steht zur Auswahl, ob ein Teilnetz importiert oder eine beliebige Datei überlagert werden soll:

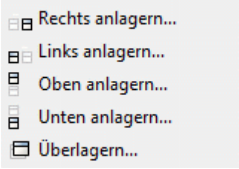


Bei dem Menüpunkt *Datei überlagern...* sind die gleichen Formate möglich wie beim *Öffnen* einer Datei.

Der Import eines Teilnetzes ist ausführlich beschrieben unter "Aufbau eines 3D-Modells - Import eines Teilmodells in das Gesamtmodell" (S. 224).

Plotdatei:

Es besteht die Möglichkeit, eine Datei *Rechts, Links* oder *Oben, Unten* (= rechts neben, links neben oder oberhalb bzw. unterhalb des bereits geöffneten Plots) anzulagern oder eine Datei zu *Überlagern...*:



Hierbei sind die gleichen Formate möglich wie beim *Öffnen* einer Datei.

Exportieren

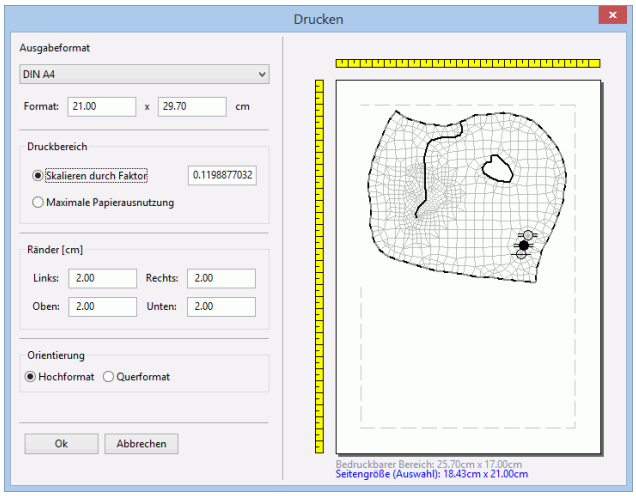
Hier stehen die im Kapitel „Datenexport“ auf Seite **333** beschriebenen Exportmöglichkeiten zur Auswahl.

Ploterstellung

Hier stehen die im Kapitel „Ploterstellung“ auf Seite **357** beschriebenen Darstellungsmöglichkeiten zur Auswahl.

Drucken

Bei Auswahl von *Drucken* erscheint zunächst das folgende Fenster, in dem die verschiedenen Druckoptionen eingestellt werden können.



Rechts unter der Druckvorschau stehen die Maße des "*Bedruckbaren Bereichs*". Dieser ergibt sich aus der Subtraktion: Blattmaße - Ränder. Die "*Seitengröße*" ergibt sich aus der Summe: Auswahlbereich + Ränder.

Diese Angabe wird für den Druck aus dem pdf-Dokument heraus benötigt. Wird die Seitengröße dort angegeben, bekommt das pdf-Dokument genau die gewünschte Größe inklusive der Ränder.

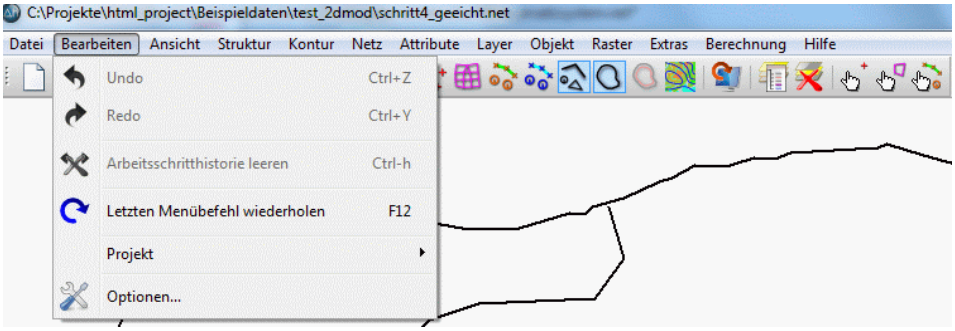
Nach Bestätigen mit OK erscheint das Auswahlfenster zur Wahl eines Druckers.

Schließen, Beenden

Bei der Wahl von *Schließen* wird nur das Projekt geschlossen, die SPRING-Oberfläche bleibt jedoch geöffnet. Bei Wahl von *Beenden* werden das Projekt und SPRING beendet.

4.2 Bearbeiten

Folgende Menü-Punkte sind wählbar:



Undo/Redo

Durch Wahl von *Undo,* dem entsprechenden Shortcut (Ctrl+Z oder Ctrl+Y) oder dem Symbol kann die letzte Aktion (z.B. *Knoten verschieben*) rückgängig gemacht werden. Wurde vorher ein Objekt gelöscht, kann dieses mittels der *Undo*-Funktion (Shortcut oder Symbol) wiederhergestellt werden. Die Funktion *Redo* wiederholt den letzten Arbeitsschritt (z.B. *Knoten einfügen*).

Arbeitsschritthistorie leeren

Diese Aktion löscht die letzten gespeicherten Funktionen.

Letzten Menübefehl wiederholen

(nur bei geöffneter Modelldatei)

Durch Aktivieren dieses Menüpunktes oder durch Drücken der Taste F12 kann die letzte Funktion wiederholt werden.

Projekt

Da dieser Menüunterpunkt sehr komplex ist, wird er in einem gesonderten Unterkapitel behandelt.

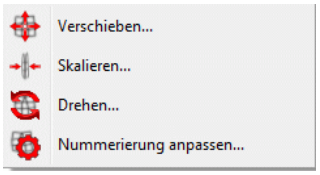
Optionen

Da dieser Menüunterpunkt sehr komplex ist, wird er in einem gesonderten Unterkapitel behandelt.

4.2.1 Projekt

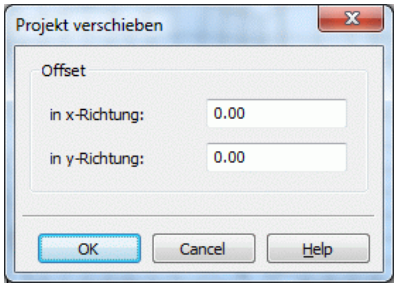
(Dieser Menüpunkt steht nur bei geöffneter Modelldatei zur Verfügung)

Es erscheinen folgende Menü-Punkte:



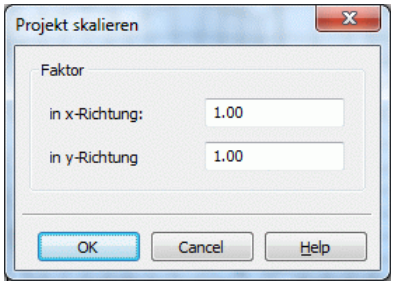
Projekt verschieben

Mit diesem Menüpunkt ist es möglich, den Ursprung eines Modells zu verschieben, um z.B. von relativen (x, y)-Koordinaten auf Gauß-Krüger-Koordinaten zu wechseln. Es ist im Dialog das Offset in x- und/oder y-Richtung einzugeben.



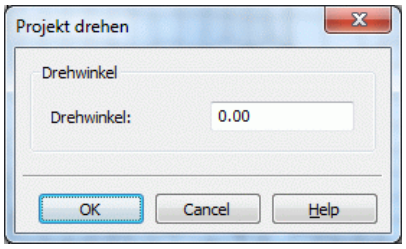
Projekt skalieren

Mit diesem Menüpunkt kann ein Modell skaliert werden, d.h. die Abstände in X und/oder in Y-Richtung können über einen Faktor vergrößert oder verkleinert werden. Im Dialog ist der Faktor für die Skalierung in x- und/oder y-Richtung einzugeben.



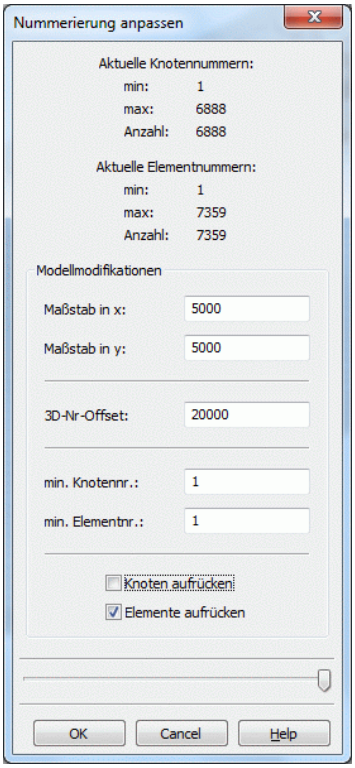
Projekt drehen

Mit diesem Menüpunkt kann das Koordinatensystem eines Modells gedreht werden. Es wird die Eingabe eines Drehwinkels (in Grad gegen den Urzeigersinn) erwartet.



Nummerierung anpassen

Folgende Eingaben sind möglich:



Maßstab in x-/y-Richtung

Mit diesem Menüpunkt kann der Maßstab der Modelldatei in x- und/oder y-Richtung geändert werden.

3D-Nr-Offset (nur 3D-Modell)

Mit diesem Menüpunkt kann der 3D-Nummernoffset (3DNR) bei einem 3D-Modell vergrößert oder verkleinert werden. Falls bei der Modellerstellung/Verfeinerung eine Vergrößerung notwendig ist, wird das 3D-Offset automatisch angepasst.

Min. Knoten-/Elementnummer

Alle Knotennummern und/oder alle Elementnummern können durch das Ändern der minimalen Knotennummer bzw. der minimalen Elementnummer um ein gewisses Offset höher nummeriert bzw. herunter nummeriert werden. Die Knoten- und Elementnummern müssen dabei (beim Offset nach unten) positiv bleiben. Das eventuell nicht mehr passende Offset bei der 3D-Nummerierung wird automatisch geändert.

Zur Vorbereitung der Kopplung zweier Modelle wird diese Funktion vor allem zur Höhernummerierung eines Modells verwendet.

Knoten/Elemente aufrücken

Bei der Netzgenerierung und Veränderung entstehen oft Lücken in der Knoten- und Elementnummerierung. Dies kann z.B. dazu führen, dass das Standard-3D-Offset von 10000 zu klein wird, da Knoten- und/oder Elementnummern größer als 10000 entstanden sind, obwohl weniger als 10000 Elemente und Knoten tatsächlich vorliegen. In diesen Fällen kann es sinnvoll sein, die Knoten- und/oder Elementnummerierung aufzurücken.

4.2.2 Optionen

In diesem Menü sind die SPRING-Optionen aus der grafischen Darstellung (früher XPLT- und XSUSI-Optionen, *spring.opt*) sowie die Plotoptionen aus der Ploterstellung (früher PLOGEO-Optionen, *plogeo.ini*) zusammengefasst. Durch Speichern des Menüs werden die Dateien *spring.opt* und *plogeo.ini* in folgendem Verzeichnis erstellt:

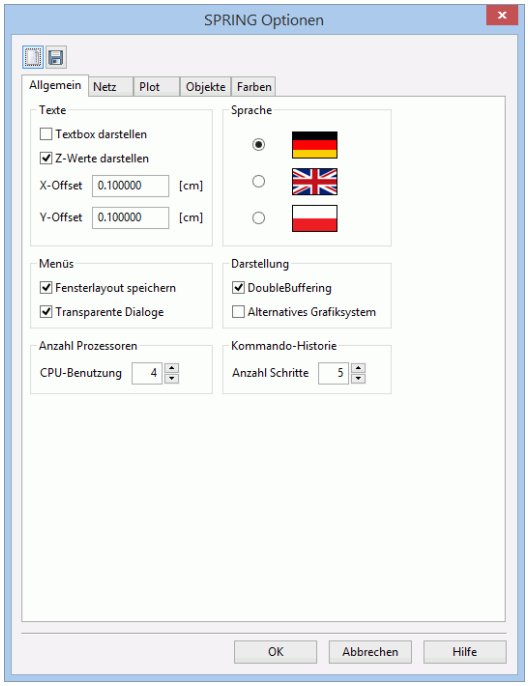
"C:\Users\Public\Documents\SPRING\Konfig" (Windows 7 oder Windows Vista) abgespeichert. Dieser Pfad variiert je nach Betriebssystem oder Festplattenpartitionierung (z.B. unter Windows XP: "C:\Documents and Settings\All Users\Documents\SPRING\Konfig").

Der Aufbau der beiden Dateien ist im Kapitel „Aufbau der Modelldateien – Initialisierungsdateien“ auf Seite **32** erläutert.

Die Optionen sind in die Bereiche Allgemein, Netz, Plot, Objekte und Farben aufgeteilt. In den folgenden Kapiteln werden die möglichen Einstellungsmöglichkeiten beschrieben.

4.2.2.1 Allgemein

Bei den allgemeinen Optionen erscheint folgendes Eingabefenster:



Die Buttons im Kopf des Eingabefensters ermöglichen das Speichern der Eingabeparameter in den Initialisierungsdateien *spring.opt* bzw. *plogeo.ini* ( ) oder das Zurücksetzen der Eingabeparameter auf die Voreinstellungen ( ). Beim Zurücksetzen werden alle Einstellungen zurückgesetzt, d.h., auch die Symbolleisten werden z.B. auf die Standardleiste zurückgesetzt.

Texte

SPRING-Optionen für das Überlagern von *.txt- und *.str-Dateien

- Textbox darstellen (Variable SPRINGTextBox)

Ist dieses Kontrollkästchen aktiviert (Standard), wird ein Rechteck für jeden Text auf dem Bildschirm dargestellt, das die Lage und Ausdehnung des Textes bei der Plotausgabe markiert. Bei Deaktivieren des Kontrollkästchens entfällt die Darstellung der Box. Beim Plotten wird die Textbox nicht dargestellt. Aufgrund der Tatsache, dass die genaue Metrik der Plotter-Fonts nicht bekannt ist, ist die Ausdehnung der Textbox nur eine Abschätzung.

- Z-Werte darstellen (Variable SPRINGShowZValues)

Ist das Kontrollkästchen aktiviert, werden Texte oder Werte (3. Spalte der Dateien) aus *.txt und *.str-Dateien in der Karte dargestellt. Die Textposition relativ zum Koordinatenpunkt wird durch den X- und Y-Offset bestimmt. Das Deaktivieren des Kästchens unterdrückt die Darstellung der Texte.

- X- und Y-Offset (Variablen SPRINGTextXoffset, SPRINGTextYoffset)

Neben der Überlagerung von Grafikdateien besteht in SPRING die Möglichkeit, Strukturdateien (*.str) und beliebig formatierte ASCII-Dateien (*.txt) einzulesen, um z.B. Werte oder Texte an den darin angegebenen Koordinatenpunkten darzustellen. Die Variablen SPRINGTextXoffset und SPRINGTextYoffset steuern die Position der Beschriftung relativ zu dem in der Datei angegebenen Koordinatenpunkt. Mit den Standardwerten von jeweils 0.1 cm beginnt die Beschriftung einen mm rechts oberhalb der Punktkoordinaten. Für Positionen links oder unterhalb des Punktes müssen jeweils negative Werte angegeben werden.

Die Werte für den X- und Y-Offset müssen **vor** Einlesen eines Datensatzes definiert werden.

Sprache

(Variable SPRINGLanguage)

Mit diesem Schalter kann die Sprache der Benutzeroberfläche auf Deutsch, Englisch oder Polnisch umgestellt werden. Die Sprachumstellung ist sofort wirksam.

Menüs

- Fensterlayout speichern

Hier kann gewählt werden, ob das aktuelle Layout (z.B. Anordnung bzw. Anzeigen von optional geöffneten Dialogfenstern) für die nächste SPRING-Sitzung gespeichert werden soll.

- Transparente Dialoge

Wenn diese Checkbox aktiviert ist, wird an einigen Dialogen (z.B. Attribute darstellen) ein Schieber angehängt, mit welchem diese sich semi-transparent schalten lassen. So verdecken diese Dialoge z. B. keine selektierten Objekte mehr. Nach Aktivieren dieser Checkbox erscheint in den Dialog- und Eingabefenstern der folgende Balken:

Durch Verschieben des Zeigers lässt sich die Transparenz des Fensters verstärken (Zeiger ganz links) oder verringern (Zeiger ganz rechts).

Darstellung

- Double Buffering

Durch eine Pufferung in den Framebuffer des Grafikkartenspeichers wird die Darstellung beschleunigt und das Flackern des Bildschirms vermieden.

- Alternatives Grafiksystem

Zur Auswahl steht ein 2. Grafiksystem mit Unterstützung von Antialiasing und Transparenzeffekten. Dies muss vorab aktiviert werden, wenn die Transparenz eines Layers (S. 169) geändert werden soll.

Anzahl Prozessoren

(Variable SPRINGMaxCPUusage)

In SPRING besteht die Möglichkeit, die Leistung der auf einem Rechner vorhandenen CPU-Prozessoren zu parallelisieren. Der Anwender kann an dieser Stelle bestimmen, wieviele logische CPU-Kerne er für SPRING verwenden möchte. Wählt er z.B. 3 von 4 Prozessoren aus, kann er nebenbei noch etwas anderes machen. Wählt er 4 von 4 vorhandenen Prozessoren, arbeitet der Rechner mit voller Leistung für SPRING.

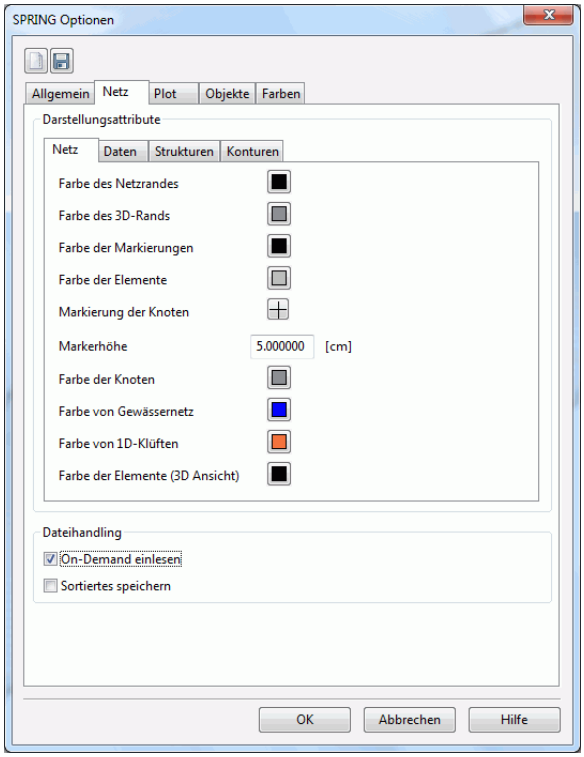
Kommando Historie

(Variable SPRINGMaxCommandHistory)

Es wird die maximale Anzahl an Kommandos festgelegt, die beim Aufrufen des *Redo/Undo*-Befehls wiederholt werden.

4.2.2.2 Netz

Es erscheint folgendes Eingabefenster für die Netzoptionen. Hier können auf verschiedenen Notebookseiten (Netz, Daten, Strukturen und Konturen) Darstellungsattribute festgelegt werden:



Auf der Notebookseite „Netz“ können Farben voreingestellt werden, die bei der Darstellung verwendet werden.

- Farbe des Netzrandes (Variable XSUSIRandPen)
- Farbe des 3D-Randes (Variable XSUSI3DRandPen)
- Farbe der Markierungen (Variable XSUSIMarkPen)
- Farbe der Elemente (Variable XSUSIElemPen)
- Markierung der Knoten (Variable XSUSIKoorMark)
- Höhe der Marker an den Knoten (Variable XSUSIKoorHeight)
- Farbe der Knoten (Variable XSUSIKoorPen)
- Farbe der Gewässernetze (Variable XSUSIStreamNetworkPen)
- Farbe der 1D-Klüfte (Variable XSUSI1DKluftPen)
- Farbe der Elemente (3D-Ansicht) (keine Variable)

Eine im Optionsmenü geänderte Farbe wird erst bei erneuter Darstellung der Markierungen, des Netzrandes bzw. 3D-Randes verwendet.

Eine geänderte Farbe der Elementdarstellung oder Knotendarstellung im Optionsmenü wird erst beim Öffnen eines neuen Projektes verwendet. Soll die bereits existierende Darstellung der Elemente oder Knoten in ihrer Farbe verändert werden, ist dies nur über den Menüpunkt *Layer → Farbe ändern* möglich.

Soll für die bereits existierende Darstellung der Knoten ein anderer Markertyp oder eine andere Markerhöhe verwendet werden, so ist dies nur über die Symbolleiste Objekteigenschaften (*Ansicht → Symbolleisten → Objekteigenschaften*) möglich.

On Demand einlesen

(Variable XSUSILoadOnDemand)

Das Öffnen des Projekts kann beschleunigt werden, in dem das Kontrollkästchen "On Demand einlesen" aktiviert wird (voreingestellt, Variable erhält Wert =1). Dadurch werden die Knoten- und Elementattribute zunächst nicht eingelesen, sondern erst, wenn ein Attribut bearbeitet werden soll (*Attribute → Knoten/Element bearbeiten...*).

Sollen die Attribute sofort eingelesen werden, muss die Variable auf 0 gesetzt (Kontrollkästchen deaktivieren) und die Optionen gespeichert werden. Beim nächsten Öffnen des Projekts werden die Attribute dann direkt eingelesen.

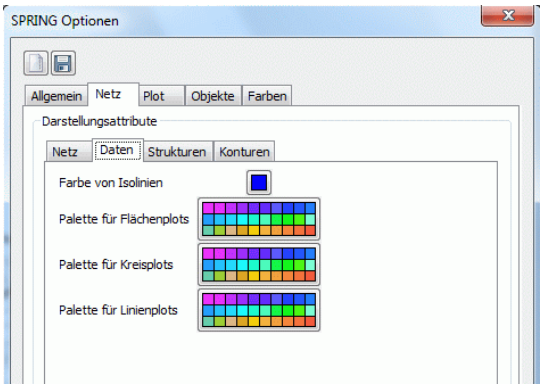
Sortieren

(Variable XSUSISaveSpeed)

Zur Beschleunigung des Sicherns der *.net- und *.3d-Datei kann die Sortierung einiger Attribute abgeschaltet werden. Hierzu muss die Variable den Wert 1 erhalten. Sollen die Attribute sortiert gesichert werden, muss die Variable auf 0 gesetzt werden.

4.2.2.2.1 Netz – Daten

Für die Darstellung von Daten stehen die im folgenden Eingabefenster gezeigten Einstellungsmöglichkeiten zur Verfügung:

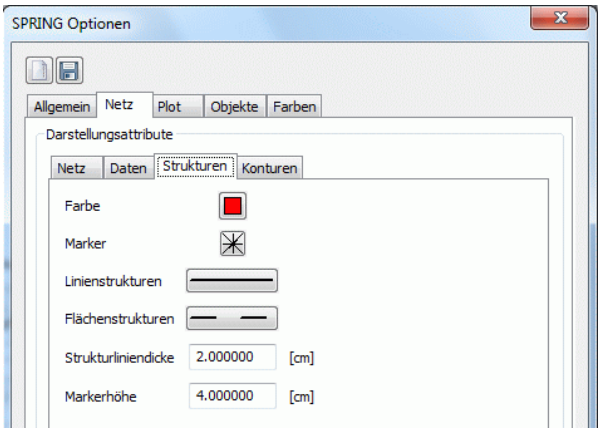


- Farbe der Isolinien (Variable XSUSIIsolPen)
- Farbpalette für Flächenplots (Variable XSUSIFlaePen)
- Farbpalette für Kreiseplots (Variable XSUSIKreiPen)
- Farbpalette für Linienplots (Variable XSUSILinePen)

Die mit diesen Optionen eingestellte Farbe oder Palette wird bei der Darstellung der Daten als Isolinien bzw. Flächen-, Kreise- oder Linienplots als Voreinstellung (Menü: *Ansicht → Attribute darstellen …*) verwendet.

4.2.2.2.2 Netz – Strukturen

Für die Einstellungsmöglichkeiten der Darstellungsattribute von Strukturen erscheint folgendes Eingabefenster:

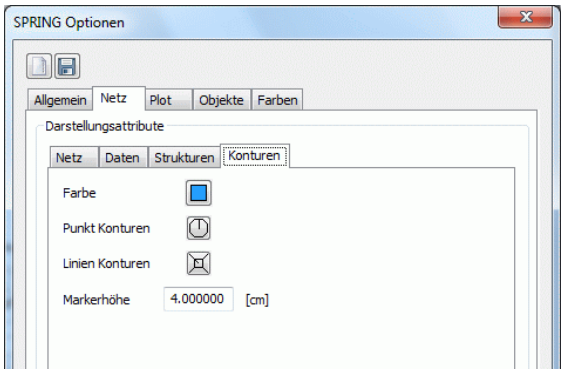


- Voreingestellte Farbe für die Darstellung von Strukturen (Variable XSUSIStruPen)
- Bei Punkt-Strukturen werden der mit der Variablen XSUSIStruMtyp eingestellte Markertyp und die mit der Variablen XSUSIStruHeight eingestellte Markerhöhe als Voreinstellung verwendet.
- Bei Linien-Strukturen wird der mit der Variablen XSUSILtyp eingestellte Linientyp als Voreinstellung verwendet.
- Bei der Darstellung von Flächen-Strukturen (als Polygone) wird der mit der Variablen XSUSIStruFtyp eingestellte Linientyp als Voreinstellung verwendet.
- Bei Linien-Strukturen wird die Liniendicke mit der Variablen XSUSIStruPenWidth voreingestellt.

Wird eine dieser Optionen im Optionsmenü geändert, hat dies keinen Einfluss auf die Darstellung von bereits vorhandenen Strukturen. Deren Darstellungsattribute können über den Menüpunkt *Struktur → Bearbeiten* verändert werden.

4.2.2.2.3 Netz – Konturen

Für die Einstellungsmöglichkeiten der Darstellungsattribute von Konturen erscheint das folgende Eingabefenster:



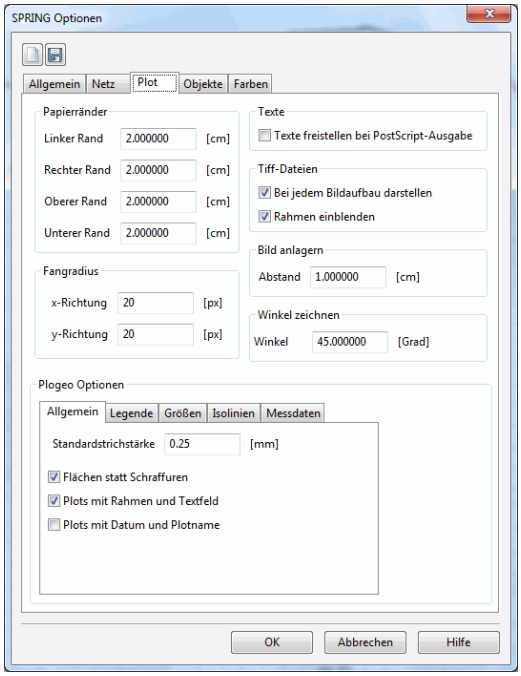
- Voreingestellte Farbe für die Darstellung von Konturen (Variable XSUSIKontPen)
- Bei Punkt-Konturen werden der mit der Variablen XSUSIKontPmark eingestellte Markertyp und die mit der Variablen XSUSIKontHeight eingestellte Markerhöhe als Voreinstellung verwendet.
- Bei Linien-Konturen wird der mit der Variablen XSUSIKontLmark eingestellte Markertyp und die mit der Variablen XSUSIKontHeight eingestellte Markerhöhe bei der Darstellung von Anfangs- und Endpunkten der Linien-Konturen verwendet.

Eine Änderung der Optionen im Optionsmenü hat keinen Einfluss auf bereits dargestellte Konturen. Ein im Optionsmenü geänderter Konturdarstellungsparameter wird erst beim Öffnen eines neuen Projektes zur Konturdarstellung verwendet. Soll die bereits existierende Darstellung der Konturen in ihrer Farbe verändert werden, so ist dies nur über den Menüpunkt *Layer → Farbe ändern* möglich. Eine Änderung der verwendeten Markertypen und Markerhöhe eines bereits existierenden Kontur-Layers ist nicht möglich.

4.2.2.3 Plot

In diesem Menü werden die für die Ploterstellung bedeutsamen Initialisierungsparameter, die zum Großteil in der Datei plogeo.ini und in der spring.opt verwaltet werden, festgelegt. Einige Parameter werden während der Ploterstellung in den erweiterten Einstellungen definiert.

Es erscheint folgendes Eingabefenster:



Festlegen der Papierränder für die Druckausgabe

(Variablen XPLTLinkerPapierRand, XPLTRechterPapierRand, XPLTObererPapierRand, XPLTUntererPapierRand)

Hier können die Größen der standardmäßig auf 2.0 cm eingestellten Papierränder (in cm) für die Plotausgabe modifiziert werden.

Fangradius zum Selektieren von Objekten

(Variablen SPRINGFangradiusX, SPRINGFangradiusY)

Der Fangradius legt fest, bis zu welchem maximalen Abstand der Cursor ein Objekt selektiert.

Texte freistellen

(Variable XPLTTextSetFree)

Wird dieses Kontrollkästchen aktiviert (Wert "1" in der spring.opt), werden Texte beim Drucken vor dem Hintergrund freigestellt. Die Auswirkung der Funktion ist auf dem Bildschirm nicht sichtbar.

TIFF-Dateien

(Variable XPLTShowTiff)

Wird dieses Kontrollkästchen aktiviert (Wert "1" in der spring.opt), werden Rasterdaten bei jedem Bildaufbau dargestellt. Durch Deaktivieren (Wert "0" in der spring.opt) kann die Darstellung der Raster auf dem Bildschirm unterdrückt werden.

Bild anlagern

(Variable XPLTMapOffset)

Über diese Option ist es möglich, den Abstand einer neuen Karte zu der bereits dargestellten Karte, an die sie angelagert werden soll, zu bestimmen. Der gesetzte Wert wird bei dem Menüpunkt *Datei → Importieren → …anlagern* im Plotmodus berücksichtigt. Die Voreinstellung ist 1.0 cm.

Definition des Winkels beim Zeichnen einer Strecke

(Variable XPLTLineAngle)

Über diese Option wird der Winkel (zwischen +90 und -90) angegeben, unter dem eine Strecke beim Aufruf von *Objekt → Zeichnen → Linie* gezeichnet werden soll. Der Winkel wird jedoch erst aktiv, wenn beim Zeichnen einer Strecke die Taste STRG gedrückt wird. In dem Fall "rastet" die Strecke "ein", wenn die Strecke horizontal oder vertikal ausgerichtet ist, oder diesen definierten Winkel erreicht.

4.2.2.3.1 Plot – Allgemein

Nach Auswahl der Registerkarte *Allgemein* erscheint im unteren Bereich folgender Eingabeblock:

Standardstrichstärke

Der plogeo.ini-Befehl PENW gibt die Standardstrichstärke (in mm) für alle Objekte an, deren Strichstärke nicht explizit definiert ist.

Flächen statt Schraffuren

Durch Aktivieren dieses Kontrollkästchens wird der plogeo.ini-Befehl FLAE (nicht zu verwechseln mit der Datenart FLAE bzw. dem PLOGEO-Batchdatei-Befehl FLAE!) auf den Wert „1“ gesetzt, d.h., Isolinien-Flächenplots werden mit ausgefüllten Flächen ausgeführt und Schraffurplots werden nicht als Schraffur, sondern als flächenhaftes Färben der Elemente ausgeführt.

Deaktivieren des Kontrollkästchens bedeutet, dass der Wert auf „0“ gesetzt wird, so dass Isolinien-Flächenplots mit enger Linienschraffur ausgeführt und Schraffurplots wirklich als Schraffur ausgeführt werden.

Die Ausgabe eines Isolinienflächenplots und/oder eines Schraffurplots, der mit dem plogeo.ini-Befehl FLAE = 1 erstellt wurde, setzt einen Drucker voraus, der auch Farbflächen verarbeiten kann (kein Stiftplotter!).

Winkelangaben, Abstands- und Strichstärkenangaben aus den Schraffurparametern sind bei FLAE = 1 irrelevant!

Beim Isolinienflächenplot werden, wenn eingegeben, nur noch Teilbereiche gefärbt, d.h. die eingegebenen extremen Intervallgrenzen werden nicht durch die globalen Extrema ergänzt (dies ist nur bei Setzen des plogeo.ini-Befehls FLAE = 0 der Fall).

Plots mit Rahmen und Textfeld

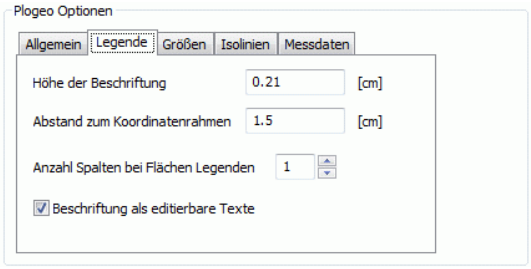
Durch Aktivieren dieses Kontrollkästchens wird der plogeo.ini-Befehl NORA auf den Wert „0“ gesetzt, d.h., jeder Plot wird mit einem Plotrahmen versehen. Durch Deaktivieren des Kästchens wird der Plot ohne Plotrahmen dargestellt.

Plots mit Datum und Plotnamen

Durch Aktivieren des Kontrollkästchens wird der plogeo.ini-Befehl TIME = 1 gesetzt, d.h., jeder Plot wird unten links im Plotrahmen mit Erstellungs-Datum, Uhrzeit und Plotname (absoluter Pfadname) beschriftet. Bei Deaktivieren des Kästchens erfolgt keine entsprechende Plotbeschriftung (TIME = 0 in der plogeo.ini-Datei)

4.2.2.3.2 Plot – Legende

Nach Auswahl der Registerkarte *Legende* erscheint im unteren Bereich folgender Eingabeblock:



Höhe der Beschriftung

Festlegen der Höhe der Legendenbeschriftung in cm (plogeo.ini-Befehl HLEG).

Abstand zum Koordinatenrahmen

Hier kann der Abstand der Legende zum Koordinatenrahmen in cm festgelegt werden (plogeo.ini-Befehl DLEG).

Anzahl Spalten bei Flächen-Legenden

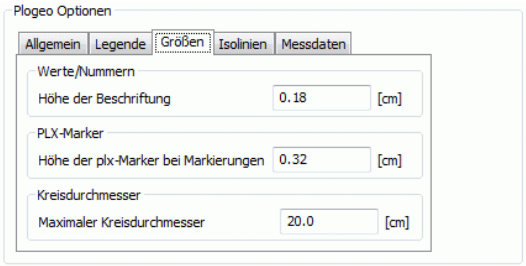
Hier kann die Anzahl der Spalten der Legende bei einer flächenhaften Darstellung festgelegt werden (plogeo.ini-Befehl NLEG). Zur Auswahl steht die Möglichkeit, die Legende in einer oder in zwei Spalten darzustellen.

Beschriftung als editierbare Texte

Durch Aktivieren des Kontrollkästchens wird der Wert des plogeo.ini-Befehls TEXT = 1 gesetzt, d.h., die Beschriftung wird im Textformat ausgegeben. Ohne Aktivierung werden die Legenden- und Rahmenbeschriftungen als in Polylines umgewandelte Zeichen ausgegeben (TEXT = 0). Ein nachträgliches Ändern des Textes ist dann nicht mehr möglich.

4.2.2.3.3 Plot – Größen

Nach Auswahl der Registerkarte *Größen* erscheint im unteren Bereich folgender Eingabeblock:



Werte/Nummern, Höhe der Beschriftung

Hier kann die Höhe der Beschriftung [in cm] für Werte oder Nummern an Knoten bzw. Elementen beliebig festgelegt werden (plogeo.ini-Befehl HWER).

PLX-Marker, Höhe

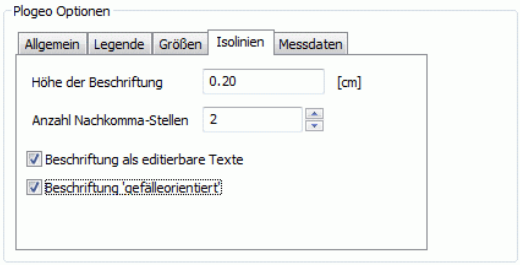
Hier kann die Höhe der PLX-Marker [in cm] bei der Darstellung von Markierungen (Datenart MARK) beliebig festgelegt werden (plogeo.ini-Befehl HMAR).

Kreisdurchmesser

Hier wird der maximal zu verwendende Kreisradius [in cm] bei einem Kreisplot festgelegt (plogeo.ini-Befehl RADI).

4.2.2.3.4 Plot – Isolinien

Nach Auswahl der Registerkarte *Isolinien* erscheint im unteren Bereich folgender Eingabeblock:



Höhe der Beschriftung

Hier wird die Höhe [in cm] der Isolinienbeschriftung beliebig festgelegt (plogeo.ini-Befehl HISO).

Anzahl Nachkomma-Stellen

Hier wird die Anzahl der Nachkomma-Stellen bei der Beschriftung von Isolinien (nur bei Gleitkomma-Format) festgelegt (plogeo.ini-Befehl NAKO). Eine Darstellung ohne Nachkommastellen ist auch möglich.

Beschriftung als editierbare Texte

Durch Aktivieren des Kontrollkästchens wird der Wert des plogeo.ini-Befehls TXT2 = 1 gesetzt, d.h., die Beschriftung wird im Textformat (Font Helvetica, normal) ausgegeben, wenn der plogeo.ini-Befehl TEXT = 1 gesetzt ist!

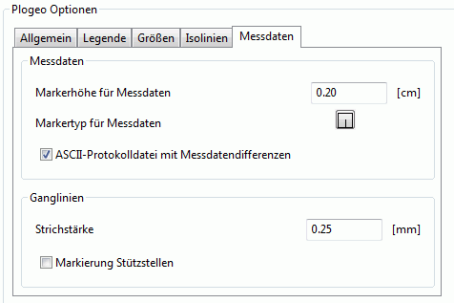
Ohne Aktivierung werden die Legenden- und Rahmenbeschriftungen als in Polylines umgewandelte Zeichen ausgegeben (TXT2 = 0).

Beschriftung “gefälleorientiert”

Wird dieses Kontrollkästchen aktiviert, wird der Wert des plogeo.ini-Befehls ISBE = 1 gesetzt, d.h., die Isolinienbeschriftung erfolgt "bergauf" (d.h. die Beschriftung der Isolinie wird so orientiert, dass unterhalb die kleineren und oberhalb die größeren Werte der Datenart liegen). Ist das Kontrollkästchen deaktiviert, erfolgt die Isolinienbeschriftung "lesbar", sie ist dann maximal 90 Grad zur x-Achse des Plots gedreht (ISBE = 0).

4.2.2.3.5 Plot – Messdaten

Nach Auswahl der Registerkarte *Messdaten* erscheint im unteren Bereich folgender Eingabeblock:

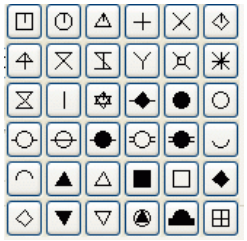


Markerhöhe für Messdaten

Hier wird die Markerhöhe [in cm] bei der Darstellung von Messdaten festgelegt.

Markertyp für Messdaten

Hier wird der Markertyp (plogeo.ini-Befehl ETYP), der für die Darstellung von Messdaten verwendet werden soll, ausgewählt. Nach Anklicken des Auswahlfeldes erscheint die folgende Markertabelle:



Dem plogeo.ini-Befehl ETYP wird dann die entsprechende Markernummer zugeordnet.

Voreingestellt ist der Markertyp 3 (Kreuz). Für den ersten Marker der Tabelle wird ETYP = 0 gesetzt, danach wird zeilenweise durchnummeriert.

ASCII-Protokolldatei mit Messdaten-Differenzen

Bei Aktivierung dieses Kontrollkästchens wird je nach Plotart eine ASCII-Protokolldatei erstellt (plogeo.ini-Befehl EDIF = 1). Es gibt zwei Möglichkeiten der Ausgabe:

- Berechnung von Differenzen zu Messdaten

In diesem Fall wird eine ASCII-Protokolldatei mit dem Namen DiffEich.txt erstellt, in der die berechneten Differenzen sowie die gemessen und berechneten Werte in der Reihenfolge X-Koordinate, Y-Koordinate, Differenz, Messwert, berechneter Wert (Format 6X, F10.2, F10.2, F10.3, F10.3, F10.3) protokolliert werden.

- Plot von Ganglinien mit Sollwerten

In diesem Fall wird für jeden Knoten oder jedes Element eine ASCII-Protokolldatei mit dem Namen C<Knoten/Elementnummer>.txt erstellt, in der folgende Daten stehen:

berechneter Wert, Messwert, Zeitpunkt, Knoten/Elementnummer (Format F10.2, 1X, F10.2, 1X, F10.2, 1X, I10)

Beide ASCII-Protokolldateien können zur Erstellung sogenannter Scatter-Plots (Gegenüberstellung von berechneten und gemessenen Werten in einem x/y-Diagramm) verwendet werden.

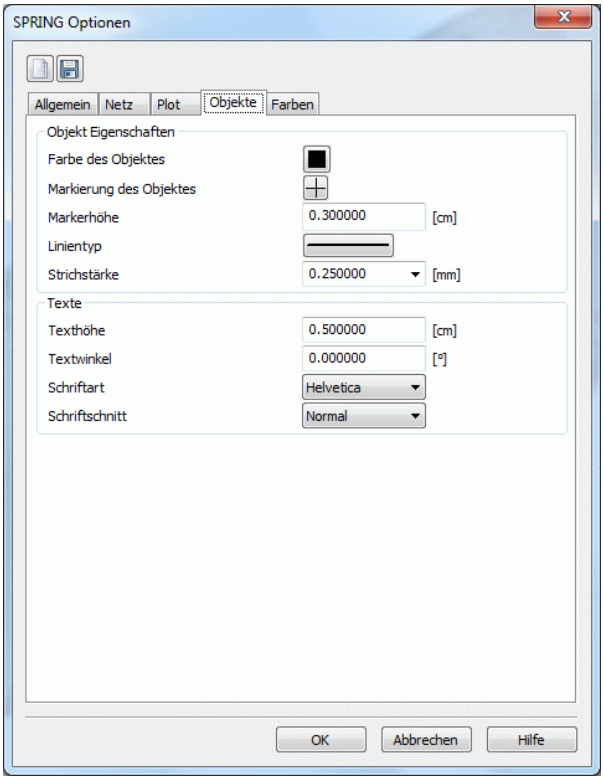
Werden andere als die oben genannten Plots erstellt, oder ist das Kontrollkästchen deaktiviert (EDIF = 0), wird keine Protokolldatei erstellt.

Ganglinien

Hier wird die Strichstärke für die Gangliniendarstellung festgelegt (plogeo.ini Befehl GSTR). Sollen die Stützstellen einer Ganglinie dargestellt werden, muss die Checkbox aktiviert werden (plogeo.ini Befehl GMAR).

4.2.2.4 Objekte

Es erscheint folgendes Eingabefenster:



Die hier zu wählenden Objekt-Attribute beziehen sich auf die Objekte, die mittels der *Ansicht → Symbolleiste → Objekteigenschaften* erstellt werden können (Marker, Linien, geometrische Figuren, Texte).

Objekt Eigenschaften

- Voreingestellte Farbe für die Darstellung von Objekten (Variable SPRINGcolDefault)
- Voreingestellter Marker für ein Objekt (Variable SPRINGmtypDefault)
- Voreingestellte Markerhöhe des Objekts (Variable SPRINGmhgtDefault)
- Voreingestellter Linientyp für ein Objekt (Variable SPRINGltypDefault)
- Voreingestellte Strichstärke für ein Objekt (Variable SPRINGpenwDefault)

Text Eigenschaften

- Voreingestellte Texthöhe (Variable SPRINGtxthDefault)
- Voreingestellter Textwinkel: Variable (SPRINGanglDefault)
- Voreingestellte Schriftart und Schriftschnitt: (Variable SPRINGfontDefault), zur Auswahl stehen die Fonts: Helvetica, Roman, Courier, Symbol sowie die Schriftschnitte: normal, fett, kursiv, fett und kursiv.

Die Schriftart und der Schriftschnitt sind zusammen gefasst in der Variable SPRINGfontDefault. Sie besteht aus einer zweistelligen Integerzahl größer oder gleich 10.

Bedeutung der 1. Ziffer (Schriftart):

1 = Helvetica

2 = Roman

3 = Courier

4 = Symbol

Bedeutung der 2. Ziffer (Schriftschnitt):

0 = normal

1 = fett

2 = kursiv

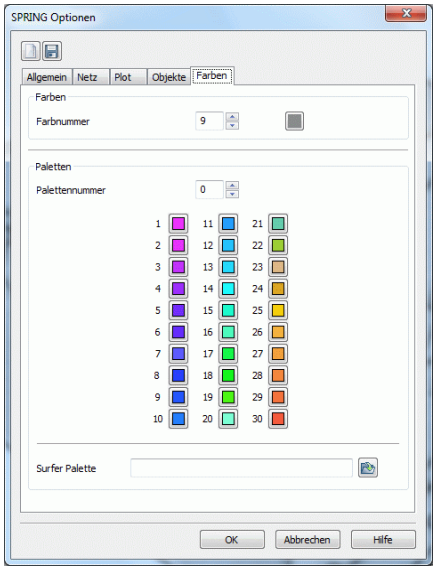
3 = fett kursiv

D.h. wenn die Variable SPRINGfontDefault den Wert „32“ hat, wird das Textobjekt in Courier kursiv dargestellt.

Die Schriftart Symbol kann nur normal dargestellt werden (= 40).

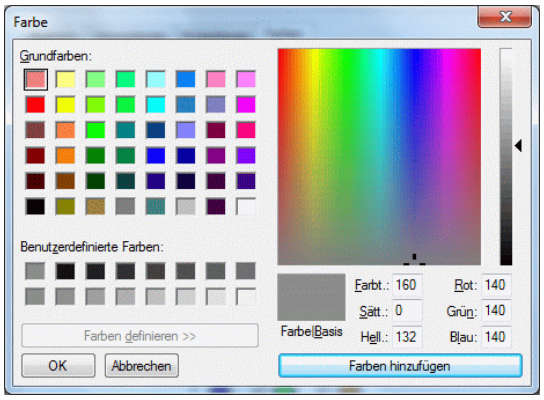
4.2.2.5 Farben

Es erscheint folgendes Eingabefenster für die Vorauswahl der Farben:



Farben, Farbnummer

Durch Auswahl einer Farbnummer kann nach Aktivieren des Farbbuttons dieser Nummer eine neue bzw. andere Farbe zugeordnet werden. Das Aktivieren des Farbbuttons führt zu folgendem Auswahlfenster:



Hier kann der Anwender seine eigenen Farben kreieren.

Paletten, Palettennummer

(Variable SPRINGColor)

Daneben besteht die Möglichkeit, in der Initialisierungsdatei spring.opt durch die Variable XSUSIPalette die Nummer der Farbpalette, die Anzahl und die Nummern der zugehörigen Farben manuell festzulegen. Beispiel:

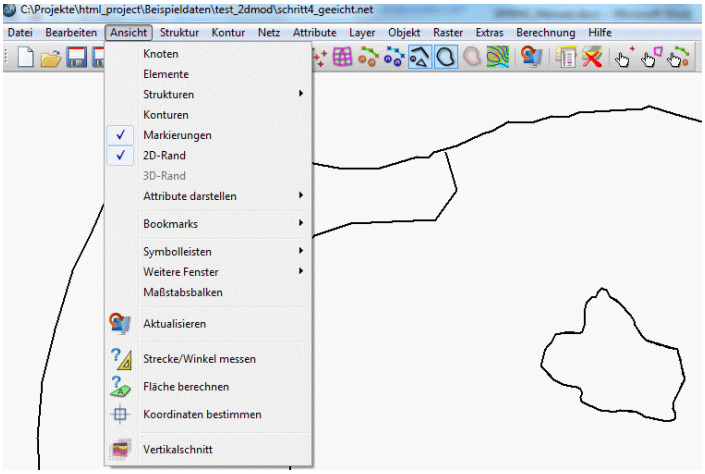
```
XSUSIPalette: 1 10
 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
```

Bei der Installation von SPRING wird die Datei spring.opt mitgeliefert, welche die Farbpaletten 0 bis 9 enthält. Durch Editieren bzw. Ergänzen der Datei können insgesamt bis zu 15 Farbpaletten definiert werden.

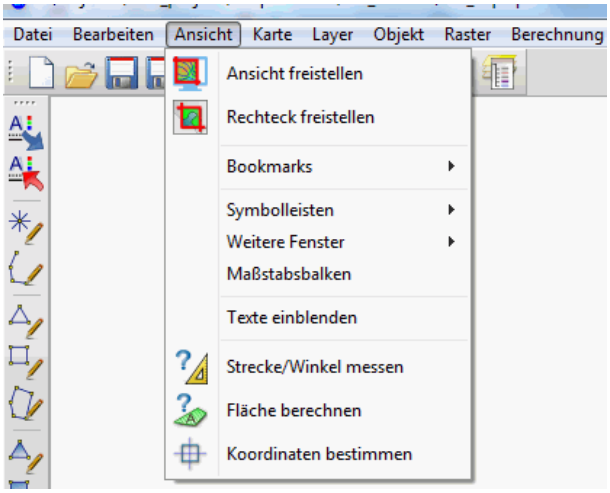
Nach Auswahl einer Palette können entsprechend der möglichen Anzahl die einzelnen Farben der Palette festgelegt werden. Oder die Palettenzusammenstellung erfolgt über das Dateiauswahlfenster. Hier können Paletten im Goldensoftware-Surfer Format (*.clr) eingelesen werden. Diese bestehen aus einer beliebigen Anzahl von Farbintervallen und werden beim Import auf die SPRING-Intervalle der jeweiligen Palette interpoliert, d.h., es entstehen Farbverläufe von jeweils 10 bzw. 30 Farben.

4.3 Ansicht

Der Menüpunkt „Ansicht“ beinhaltet unterschiedliche Unterpunkte in Abhängigkeit der geöffneten Datei (Modell- oder Plotdatei). Folgende Menü-Punkte sind im Modus Modelldatei wählbar:



Folgende Menü-Punkte sind wählbar im Modus Plotdatei:



Es folgt zunächst eine Beschreibung der Unterpunkte im Modus Modelldatei.

Knoten/Elemente

(nur Modelldatei)

Hier können die Knoten oder Elemente ein- oder ausgeblendet werden.

Strukturen

(nur Modelldatei)

Da dieser Menüunterpunkt sehr komplex ist, wird er in einem gesonderten Unterkapitel behandelt.

Konturen, Markierungen, 2D-Rand, 3D-Rand

(nur Modelldatei)

Wenn vorhanden, werden nach Aktivieren des jeweiligen Menüpunktes die Konturen, Markierungen, der 2D-Rand oder der 3D-Rand (3D-Modell oder 2D-Modell mit 3D-Teilbereich) eingeblendet oder ausgeblendet.

Attribute darstellen

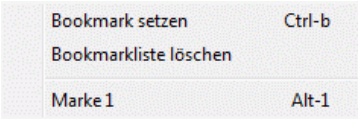
(nur Modelldatei)

Da dieser Menüunterpunkt sehr komplex ist, wird er in einem gesonderten Unterkapitel behandelt

Bookmarks

(Modell- und Plotdatei)

Hat man in einen Projektbereich hineingezoomt, den man später genauso wieder aufrufen möchte, kann man ein Bookmark anlegen. Es erscheint unter *Ansicht → Bookmark* dann das folgende Menü (es sind nicht unbedingt alle Einträge sofort sichtbar):



Mit Auswählen von „Bookmark setzen“ oder dem Shortcut Ctrl-b wird der gewählte Zoombereich als Bookmark gespeichert. Anschließend kann der Darstellungsbereich beliebig geändert werden.

Wenn eine Zoomauswahl definiert wurde, erscheinen im Menü weitere Einträge.

Die Bookmarkliste kann über den Menüeintrag „Bookmarkliste löschen“ wieder zurückgesetzt werden.

Wenn ein Zoombereich gebooktmarkt wurde, erscheint im Menü für jeden gesetzten Zoombereich ein Eintrag mit der Bezeichnung „Marke“ und einer fortlaufenden Nummerierung. Um zu einem gespeicherten Zoombereich zurück zu kehren, kann entweder entsprechende Menüeintrag „Marke Nr.“ oder der Shortcut Alt-Nr. verwendet werden.

Symbolleisten

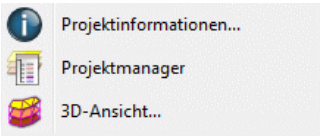
(Modell- und Plotdatei)

Da dieser Menüunterpunkt sehr komplex ist, wird er in einem gesonderten Unterkapitel behandelt.

Weitere Fenster

(Modell- und Plotdatei)

Hier können auf Wunsch weitere Fenster geöffnet werden, die Informationen zum Projekt enthalten.



Diese sind im Kapitel „Einführung in SPRING – SPRING Benutzeroberfläche“ auf Seite **15** detailliert beschrieben.

Im Plotmodus ist nur der *Projektmanager* aufrufbar.

Maßstabsbalken

(Modell- und Plotdatei)

Nach Auswahl dieses Menüpunktes erscheint ein Maßstabsbalken links unten im Hauptfenster. Bei einem Zoom passt sich auch der Maßstabsbalken den veränderten Größenverhältnissen an.

Aktualisieren

(nur Modelldatei)

Nach Auswahl dieses Menüpunktes wird die Ansicht im Hauptfenster aktualisiert (Repaint).

Strecke/Winkel messen

(Modell- und Plotdatei)

Über die Funktion *Strecke/Winkel messen* kann die Entfernung zwischen zwei Punkten bestimmt werden, indem - wie beim Editieren einer Strecke - eine Gerade zwischen zwei Punkten gezogen wird. Die Entfernung und der Winkel der Strecke werden in der Statuszeile in [m] und [Grad] eingeblendet. Die gezogene Linie ist temporär und wird nicht in die Datenbasis übernommen.

Die Funktion *Strecke/Winkel messen* bleibt solange bestehen, bis die rechte Maustaste gedrückt oder eine andere Funktion aktiviert wird.

Fläche berechnen

(Modell- und Plotdatei)

Die Funktion *Fläche berechnen* ermittelt die Fläche eines auszuwählenden Objekts, was nur bei linien- oder flächenhaften Objekten sinnvoll ist. Bei nicht geschlossenen Linienzügen wird das Polygon durch Verbinden von Anfangs- und Endpunkt geschlossen. Das Polygon muss aus mindestens drei Punkten bestehen.

Die ermittelte Fläche wird in der Statuszeile in m² und km² angegeben, wobei das Programm davon ausgeht, dass eine Einheit des Karten-Koordinatensystems einem Meter entspricht (z.B. Gauß-Krüger-Koordinaten). Bei einer davon abweichenden Koordinateneinheit ist die Flächengröße entsprechend umzurechnen. Die Flächenberechnung kann zu Problemen führen, wenn Dateien eingelesen wurden, die keine Maßstabsinformationen enthalten. In solchen Fällen wird stets ein Maßstab von 1:10.000 angenommen. Die Funktion *Karte → Bearbeiten →Skalieren* … (nur Plotdatei) erlaubt eine nachträgliche Korrektur der Maßstabszahlen.

Die Funktion *Fläche berechnen* bleibt solange bestehen, bis die rechte Maustaste gedrückt oder eine andere Funktion aktiviert wird.

Koordinaten bestimmen

(Modell- und Plotdatei)

Die Funktion *Koordinaten bestimmen* führt zur Anzeige des Rechts- und Hochwertes der aktuellen Cursor-Position in der Statusleiste. Das Betätigen der rechten Maustaste oder die Aktivierung einer anderen Funktion bricht diese Funktion ab.

Vertikalschnitt

(nur Modelldatei)

Durch Wahl dieser Funktion kann eine Gerade zwischen zwei Punkten gezogen werden, für die in einem neuen Fenster der Vertikalschnitt S. **19** angezeigt wird.

Die folgenden Menüpunkte sind nur um Modus Plotdatei verfügbar.

Ansicht freistellen/Bereich freistellen

(nur Plotdatei)

Mit Hilfe dieser Menüpunkte kann die geladene Grafik am aktuellen, durch den Zoom definierten, Ausschnitt "geclippt" werden. D.h., alle Objekte, die außerhalb des gewählten Ausschnitts liegen, werden gelöscht und Objekte, die teilweise außerhalb des Ausschnitts liegen, werden abgeschnitten. Sollen mehrere Plot-Dateien am gleichen Ausschnitt geclippt werden, wird die erste Datei eingelesen und der Zoombereich festgelegt. Nachdem die Grafik geclippt und anschließend gespeichert wurde, wird die nächste Grafik als neue Datei eingelesen. Diese befindet sich, sofern das Koordinatensystem mit dem der zugrunde liegenden ersten Karte der Grafik identisch ist, automatisch im selben Zoom-Ausschnitt und kann daher sofort geclippt werden.

Anmerkung: TIFF-Karten, die ganz oder teilweise innerhalb des Ausschnitts liegen, bleiben vollständig. Ein Clippen von TIFF-Karten ist nur mit *Raster → Bereich löschen* möglich. Textobjekte werden nicht verkleinert oder abgeschnitten, sondern bleiben vollständig erhalten, falls ihr Basispunkt (links unten) innerhalb des Ausschnitts liegt.

Achtung! Bei *Bereich freistellen* wird nicht der sichtbare Bereich, sondern der durch den letzten Zoom markierte Ausschnitt „geclippt“. Der sichtbare Bereich ist in der Regel größer als der gezoomte Bereich, da das Seitenverhältnis meist nicht exakt mit dem Darstellungsbereich übereinstimmt.

Bei *Ansicht freistellen* hingegen wird der sichtbare Bereich „geclippt“.

Texte einblenden

(nur Plotdatei)

Durch Aktivieren der Funktion *TextBox anzeigen* in den Plotoptionen wird die Textbox aller in der Plotdatei vorhandenen Texte angezeigt. Diese Textbox zeigt die ungefähre Größe an, in welcher die Texte im Druck erscheinen.

Durch Aktivieren der Funktion *Texte einblenden* werden die vorhandenen Textfelder ein- oder ausgeblendet.

4.3.1 Strukturen

Dieser Menüpunkt beinhaltet alle Darstellungsarten, die für Strukturen möglich sind. Ist ein Unterpunkt inhaltlich im Modell nicht vorhanden, ist dieser Unterpunkt deaktiviert, d.h. er erscheint grau.

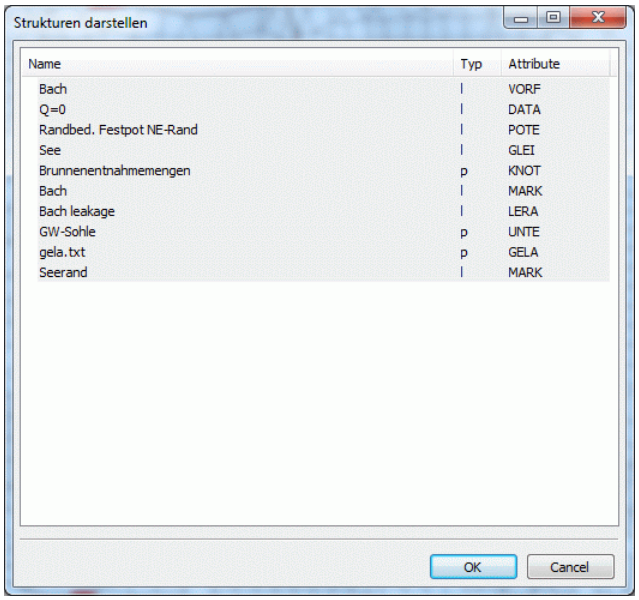
Fangen/Liste

Mit *Fangen* können zurzeit sichtbare Strukturen im Grafikfenster ausgewählt werden.

Eine gezielte Auswahl von Strukturen ist über den Menüpunkt *Liste…* möglich. Es wird eine Liste aller vorhandenen Strukturen mit:

- Name (= Strukturname)
- Strukturtyp (Punkt p, Linie l, Fläche f)
- Attributkennung

aufgestellt. Ausgewählte Strukturen (markierte) werden sichtbar, nicht markierte Strukturen werden nicht dargestellt.



Ein ganzer Block von Strukturen wird durch Ziehen des Cursors bei gedrückter linker Maustaste ausgewählt, oder indem die erste Struktur durch Anklicken und die letzte Struktur des Blockes durch "SHIFT" + Anklicken ausgewählt werden. Weitere Strukturen können durch "CTRL" + Anklicken, weitere Blöcke von Strukturen durch "CTRL" + "SHIFT" + Anklicken an- bzw. abgewählt werden.

Die Liste kann durch Klicken auf die Spaltenüberschriften sortiert werden. Die Spaltenbreite kann durch Ziehen der Spaltentrennlinie verändert werden.

Alle, Alle Punkt-, Linien-, Flächenstrukturen

Mit diesen Funktionen können je nach gewähltem Menüpunkt die jeweiligen Strukturen ein- oder ausgeblendet werden.

Bei *Alle* werden sämtliche Strukturen angezeigt bzw. ausgeblendet. Alternativ können auch nur Punkt-, nur Linien- oder nur Flächenstrukturen dargestellt bzw. ausgeblendet werden.

Strukturtexte einblenden

Der *Strukturtext* (Name) hilft bei der Identifizierung der Struktur in der Listenauswahl (s.o.) und kann durch Auswahl dieses Menüpunktes im Hauptfenster ein- oder ausgeblendet werden.

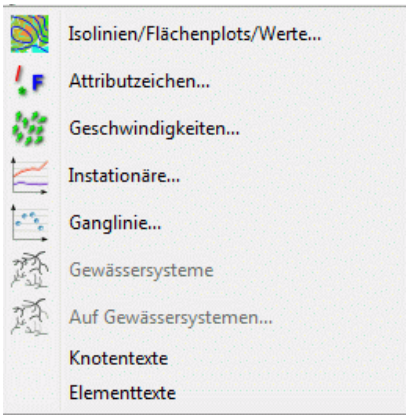
Richtungspfeile einblenden, vergrößern, verkleinern

Erst wenn der Menüpunkt *Richtungspfeile* aktiviert wird, werden auch die davon abhängigen Menüpunkte *Richtungspfeile vergrößern/verkleinern* wählbar. Die Richtungspfeile zeigen an, in welcher Knotenreihenfolge der Strukturverlauf bei Linien- oder Flächenstrukturen erstellt wurde.

Durch Wahl von *Richtungspfeile vergrößern/verkleinern* werden diese in der Darstellung skaliert.

4.3.2 Attribute darstellen

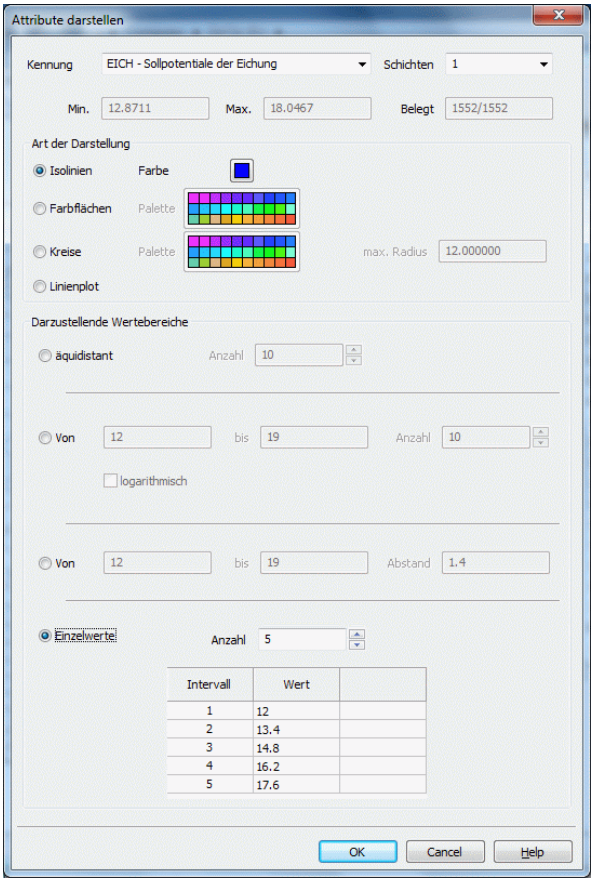
Dieser Menüpunkt beinhaltet alle Darstellungsarten, die für Attribute möglich sind. Ist ein Unterpunkt inhaltlich im Modell nicht vorhanden, ist dieser Unterpunkt deaktiviert, d.h. er erscheint grau.



Isolinien/Flächenplots/Werte…

Mit Hilfe dieses Menüpunktes kann eine Isolinien-, Farbflächen, Kreis- oder Liniendarstellung von Knoten und Elementdaten erstellt werden. Es wird eine Liste aller belegten Knoten- und Elementattribute aufgestellt und die Darstellungsart wird festgelegt.

Nach Aufrufen der Funktion erscheint das folgende Eingabefenster:



Kennung, Angaben zur Datenart

Hier wird das darzustellende Attribut anhand seiner Kennung ausgewählt. Bei einem 3D-Modell ist zusätzlich die Wahl der Schichtnummer notwendig. Wird eine 2D-Datenkennung (z.B. Geländehöhe) zur Darstellung ausgewählt, wird die Schichtnummer automatisch auf 1 gesetzt und ist nicht veränderbar.

Der Min./Max.-Bereich gibt den minimalen und maximalen Wert dieses Attributs an. Die Belegung zeigt, wie viele Knoten oder Elemente in Bezug zur Gesamtzahl mit diesem Attribut belegt sind.

Art der Darstellung

Es kann gewählt werden zwischen:

- Isolinienplot mit Bestimmung der Farbe
- Farbflächenplot (bei Knotendaten sind das Farbflächen zwischen Isolinien, bei Elementdaten ist das eine Einfärbung des Elements mit einer vom Elementwert abhängigen Farbe)
- Kreisplot, bei dem in jedem Element bzw. an jedem Knoten ein je nach Knoten- bzw. Elementwert gefärbter Kreismarker mit einem vom Wert abhängigen Radius dargestellt wird. Die Kreise haben einen Mindestradius von 6.0 (Pixel). Die Höhe des Kreises für den größten gefundenen Wert kann im Feld *max. Radius* eingestellt werden. Sollen alle Kreise gleich groß sein, muss 6.0 als max. Radius gewählt werden.
- Linienplot, zu empfehlen bei Attributen, die vorrangig entlang einer Linie zugewiesen werden (z.B. polygonzugbezogene Leakagewerte oder gleiche Potentiale entlang eines Seerandes)

Darzustellende Wertebereiche

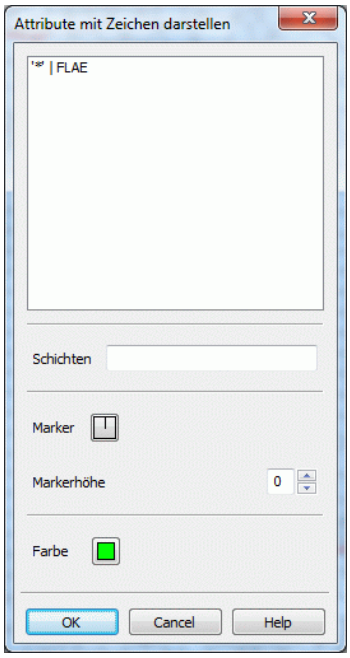
Es stehen verschiedene Darstellungsmöglichkeiten für den Wertebereich des gewählten Attributs zur Auswahl:

- Bei der Wahl von *äquidistant* werden die Werte aus einer gleichmäßigen Teilung des gefundenen Wertebereichs (Minimum bis Maximum) gewonnen. Die *Anzahl* der Teilbereiche wird im Textfeld eingegeben.
- Beim Einteilungstyp *Von-bis-Anzahl* wird das so definierte Intervall gleichmäßig unterteilt. Die Teilungsanzahl wird im Textfeld *Anzahl* eingegeben. Es besteht die Möglichkeit, durch Aktivieren des Kontrollkästchens *logarithmisch* eine logarithmische Unterteilung vorzunehmen (zu empfehlen z.B. bei K-Wert-Intervallen)
- Beim Einteilungstyp *Von-bis-Abstand* wird das Intervall vom Anwender selbst bestimmt.
- Sollen *Einzelwerte* eingegeben werden, erscheint ein Eingabefeld für die gewünschte Intervallanzahl und eine Tabelle, in der die Intervallgrenzen individuell definiert werden können.

Sind die Darstellungsattribute ausgewählt, werden die gewählten Daten in einem speziellen Layer abgelegt. Dieses Layer wird im Projektmanager aufgelistet und kann dort ein- oder ausgeblendet werden. Zusätzlich kann die Legende des Layers eingeblendet werden durch Aktivieren des entsprechenden Kontrollkästchens.

Attributzeichen…

Mit Hilfe dieses Menüpunktes können die Knoten oder Element dargestellt werden, denen ein Attributzeichen (Zeichen in der 15./16.Spalte der Modelldatei) zugewiesen wurde (z.B. alle Vorflutknoten, denen ein Festwert zugewiesen wurde, Zeichen F). Es öffnet sich der folgende Dialog:

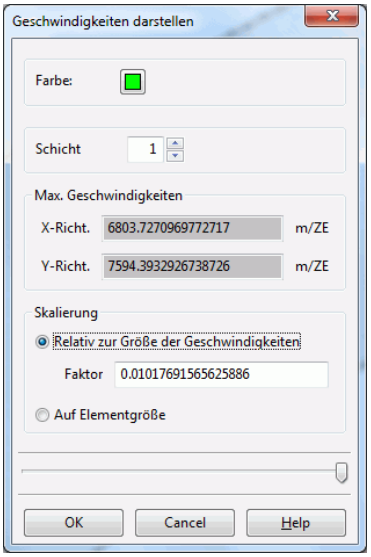


Es werden alle Attribute, die mit einem Zeichen belegt sind, aufgelistet. Bei 3D-Modellen ist eine Schichtauswahl möglich. Zudem müssen die Art des Markers, seine Größe und die Farbe festgelegt werden.

Geschwindigkeiten…

Mit diesem Menüpunkt ist es möglich, einen Vektorplot der durch die Elementdatenarten VV_X und VV_Y definierten horizontalen Geschwindigkeiten darzustellen.

Die Daten zur Geschwindigkeit müssen vorher aus den Ergebnisdaten importiert werden (*Attribute → Berechnungsergebnisse importieren…*). Die Attributkennung wird voreingestellt festgelegt auf „VV_X“ und „VV_Y“. Es öffnet sich der folgende Dialog:



Die Darstellungsfarbe sowie bei einem 3D-Modell die Schichtnummer müssen ausgewählt werden. Die maximalen Geschwindigkeiten in x- und y-Richtung werden protokolliert.

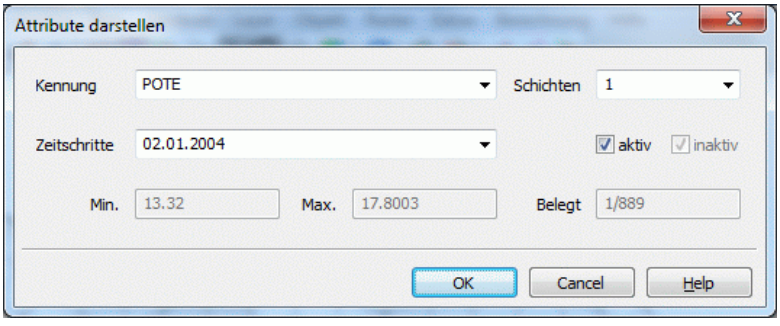
Es kann zwischen zwei Darstellungsformen gewählt werden:

- Die Fließpfeile können nach der Größe der Geschwindigkeiten skaliert werden. Diese Darstellungsform ist der Darstellung von Geschwindigkeiten in der *Ploterstellung* ähnlich. Je größer die Geschwindigkeit, desto länger wird der Vektor, der mit der Pfeilspitze am Elementmittelpunkt angezeigt wird. Werden die Geschwindigkeiten zu klein, so wird der Vektor mit einer minimalen Länge dargestellt.
- Alternativ dazu gibt es die Möglichkeit, die Geschwindigkeitsvektoren automatisch so zu skalieren, dass sie möglichst in das zugehörige Element passen. Bei dieser Darstellungsform repräsentiert der dargestellte Pfeil nur die Richtung der Geschwindigkeit, nicht deren Größe. Die dargestellten Vektoren werden mit einer Länge von 80% der mittleren Elementkantenlänge angezeigt und mit ihrem Mittelpunkt im Elementmittelpunkt aufgehängt.

Instationäre……

Instationäre Daten sind erst darstellbar, nachdem sie über *Extras → Instationär → Instationäre Eingabedatei importieren* eingelesen wurden.

Nach Auswahl dieses Menüpunktes erscheint das folgende Eingabefenster:



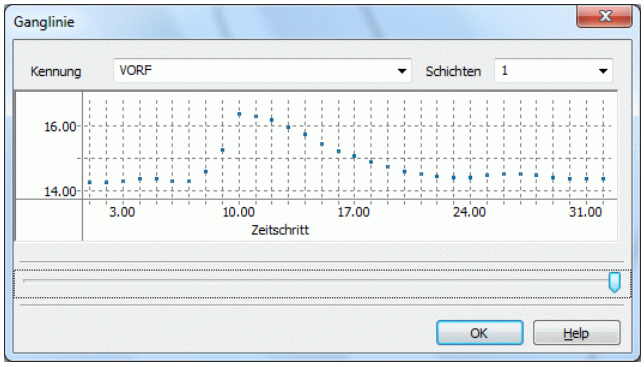
Bei dem Punkt *Kennung* werden die instationären Attribute aus der instationären Eingabedatei angezeigt. In Abhängigkeit des Attributs und des Zeitschritts werden die vorhandenen minimalen und maximalen Werte sowie die Anzahl der belegten Knoten oder Elemente angezeigt. Bei einem 3D-Modell kann die gewünschte Schicht ausgewählt werden.

Durch Auswahl der Checkboxen *aktiv/inaktiv* lassen sich die Knoten/Elemente unterscheiden, die bei den ausgewählten Eigenschaften (Kennung, Schicht, Zeitschritt) aktiv oder inaktiv sind. *Aktiv* heißt z.B. bei der Kennung POTE, zu diesem Zeitschritt wird an diesem Knoten das Potential auf dem eingegebenen Wert gehalten. *Inaktiv* ist ein Potentialknoten, wenn er in der instationären Eingabedatei mit einem Minus versehen ist. Dann ist das Potential abgeschaltet.

Dargestellt (Kreisplot) werden die Knoten oder Elemente, die mit dem ausgewählten instationären Attribut und Zeitschritt belegt sind, wenn der Dialog mit OK geschlossen wird.

Ganglinie

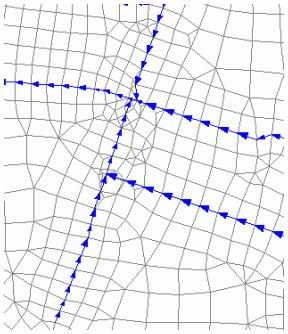
Nachdem über *Extras → Instationär → Instationäre Eingabedatei importieren* eine instationäre Eingabedatei eingelesen wurde, können die Daten durch Wahl dieses Menüpunkts als Ganglinie dargestellt werden, indem ein Knoten oder Element mit entsprechendem Attribut ausgewählt wird. Es erscheint dann die Ganglinie an dem gewählten Objekt:



Wenn verschiedene instationäre Daten vorhanden sind oder instationäre Daten in mehreren Schichten definiert sind, können diese ebenfalls ausgewählt werden.

Gewässersysteme

Nach Auswahl dieser Funktion werden die vorhandenen Gewässersysteme mit ihren Richtungspfeilen dargestellt.



Auf Gewässersystemen

Durch Auswahl dieses Menüpunktes ist es möglich, die Gewässernetzwerksattribute darzustellen. Dazu gehören die Attribute:

VKST (Manning/Strickler-Beiwert Einheit: $m^{1/3}/s$)

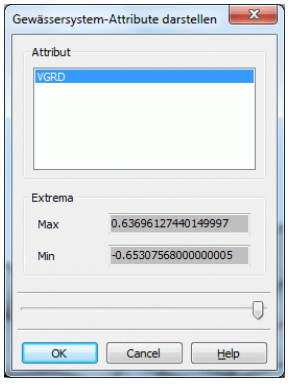
VBRT (benetzter Umfang Einheit: m)

VGRD (Sohlgefälle Einheit: Promille)

VKNO (Zufluss an einem Gewässerknoten Einheit: m^3/ZE)

VINZ (Inzidenzen der Gewässerknoten)

VSYS (Inzidenzen der Gewässersysteme)



Insbesondere kann hier eine Kontrolle der zugewiesenen Gewässernetzwerksattribute erfolgen. Wurde der Gefällegradient (Attribut VGRD) über *Extras → Gewässersysteme → Attribute → Gradienten berechnen* be-

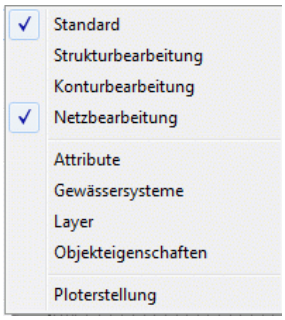
rechnet, lässt sich die Gefällerichtung an den Elementkanten durch Pfeile darstellen. Schwarze Pfeile weisen auf eine negative Gefällerichtung hin.

Knotentexte/Elementtexte

Durch Auswahl dieses Menüpunktes werden die in der Netz- und/oder 3d-Datei angegebenen Knoten- oder Elementtexte eingeblendet.

4.3.3 Symbolleisten

Hier können zu jedem der folgenden Menüpunkte



spezielle Symbolleisten eingeblendet werden, so dass je nach Bearbeitungsschritt direkt auf die entsprechenden Symbolbuttons zugegriffen werden kann. Einige Symbolleisten sind nur im Modus der Modelldatei aufrufbar, die Symbolleisten Standard, Layer, Objekteigenschaften sowie die Ploterstellung sind sowohl im Modus Modelldatei als auch im Modus Plotdatei aufrufbar.

4.3.3.1 Symbolleiste Standard

Die abgebildete Symbolleiste entspricht der Symbolleiste "Standard" im Modus Modelldatei. Im Modus Plotdatei fehlen dieser Symbolleiste die Buttons, die mit der Netzbearbeitung zusammenhängen.

Symbol:	Bedeutung:
	Datei neu/neues Projekt (S. 81)
	Datei öffnen (S. 81)
	Datei speichern (S. 81)
	Datei speichern unter (S. 81)
	Drucken (S. 81)
	Undo (S. 83)
	Redo (S. 83)
	Strecke messen (S. 97)
	Fläche berechnen (S. 97)
	Koordinaten anzeigen (S. 97)
	Knoten ein-/ausblenden (S. 97)
	Elemente ein-/ausblenden (S. 97)
	Strukturen ein-/ausblenden (S. 97)
	Konturen ein/-ausblenden (S. 97)
	Markierungen ein-/ausblenden (S. 97)
	Netzrand ein-/ausblenden (S. 97)
	3D-Rand ein-/ausblenden (S. 97)

Symbol:	Bedeutung:
	Attribute darstellen (S. 97)
	Ansicht aktualisieren (S. 97)
	Projektmanager einblenden (S. 97)
	Layer löschen (S. 169)
	Knotenattribute anzeigen/bearbeiten (S. 142)
	Elementattribute anzeigen/bearbeiten (S. 142)
	Struktur anzeigen/bearbeiten (S. 116)

4.3.3.2 Symbolleiste Strukturbearbeitung

(nur Modelldatei)

Symbol:	Bedeutung:
	Strukturen ein-/ausblenden (S. 99)
	nur p-Strukturen ein-/ausblenden (S. 99)
	nur l-Strukturen ein-/ausblenden (S. 99)
	nur f-Strukturen ein-/ausblenden (S. 99)
Text	Struktur-Infotexte ein-/ausblenden (S. 99)
	Punktstruktur erzeugen (S. 111)
	Linienstruktur erzeugen (S. 111)
	Flächenstruktur erzeugen (S. 111)
	einzelne Struktur modifizieren (S. 116)
	Struktur aus Liste modifizieren (S. 116)
	einzelne Struktur kopieren - fangen (S. 111)
	Struktur aus Liste kopieren (S. 111)
	einzelne Struktur löschen -fangen (S. 111)
	Strukturen löschen - im Bereich (S. 111)
	Struktur löschen - aus Liste (S. 111)
	alle Strukturen löschen (S. 111)

4.3.3.3 Symbolleiste Konturbearbeitung

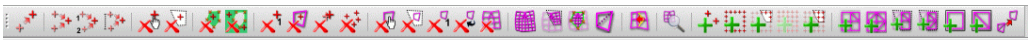
(nur Modelldatei)

Symbol:	Bedeutung:
	Konturen ein-/ausblenden (S. 97)
	Punktkontur erzeugen (S. 125)
	Linienkontur erzeugen (S. 125)

Symbol:	Bedeutung:
	Kontur aus Struktur übertragen (fangen) (S. 125)
	Kontur aus Struktur übertragen (Liste) (S. 125)
	Konturpunkt verschieben (S. 125)
	Max. Abstand der Konturpunkte setzen (fangen) (S. 125)
	Max. Abstand der Konturpunkte setzen (Liste) (S. 125)
	Kontur n-mal teilen (fangen) (S. 125)
	Kontur n-mal teilen (Liste) (S. 125)
	Kontur-Teilungspunkte fangen (S. 125)
	Kontur-Teilungspunkte fangen (im Bereich) (S. 125)
	Einzelne Kontur löschen (fangen) (S. 125)
	Konturen löschen im Bereich (S. 125)
	Alle p-Konturen löschen (S. 125)
	Alle l-Konturen löschen (S. 125)
	Alle Konturen löschen (S. 125)

4.3.3.4 Symbolleiste Netzbearbeitung

(nur Modelldatei)



Symbol:	Bedeutung:
	Knoten verschieben (S. 130)
	2 Knoten zusammenlegen (fangen) (S. 130)
	2 Knoten zusammenlegen (nach Nummern) (S. 130)
	2 Knoten zusammenlegen (nach Abstand) (S. 130)
	Einzelne Knoten löschen (S. 130)
	Knoten löschen - im Bereich (S. 130)
	Knoten löschen - innerhalb selektierter Struktur (S. 130)
	Knoten löschen - außerhalb selektierter Struktur (S. 130)
	Knoten löschen - nach Nummern (S. 130)
	Knoten löschen - ohne Elemente oder Klüfte (S. 130)
	Knoten löschen - aufeinanderliegend (S. 130)
	Alle Knoten löschen (S. 130)
	Element löschen (S. 130)
	Elemente löschen - im Bereich (S. 130)
	Elemente löschen - nach Nummern (S. 130)
	Elemente löschen - falsch orientiert (S. 130)
	Alle Elemente löschen (S. 130)
	Netz verfeinern - global (S. 130)
	Netz verfeinern - im Bereich (S. 130)
	Netz verfeinern - innerhalb Strukturen (S. 130)

Symbol:	Bedeutung:
	Viereckelement teilen (S. 130)
	Netz entspannen (S. 130)
	Netz-Kontrollen (S. 130)
	Knoten einfügen (S. 134)
	Randknoten generieren - global (S. 134)
	Randknoten generieren - Bereich (S. 134)
	Raster generieren - global (S. 134)
	Raster generieren - im Bereich (S. 134)
	Dreieck- und Viereckelemente erzeugen (global) (S. 134)
	Dreieckselemente erzeugen (global) (S. 134)
	Dreieck- und Viereckelemente erzeugen (Bereich) (S. 134)
	Dreieckselemente erzeugen (Bereich) (S. 134)
	Dreieck- und Viereckelemente erzeugen (aus innerem Rand) (S. 134)
	Dreieckselemente erzeugen (aus innerem Rand) (S. 134)
	Dreiecke zu Vierecken zusammenfassen (wenn möglich) (S. 134)

4.3.3.5 Symbolleiste Attribute

(nur Modelldatei)

Symbol:	Bedeutung:
	Knoten bearbeiten -fangen (S. 142)
	Knoten bearbeiten - Nummer (S. 142)
	Element bearbeiten - fangen (S. 142)
	Element bearbeiten - Nummer (S. 142)

4.3.3.6 Symbolleiste Gewässersysteme

(nur Modelldatei)

Symbol:	Bedeutung:
	Flussnetzwerke automatisch gruppieren (S. 111)
	Fließrichtung bestimmen (S. 111)
	Richtung ändern (nur l-Strukturen) (S. 111)
	Struktur(-gruppen) verwalten/zuweisen (S. 111)
	Attribute auf Gewässersystemen darstellen (S. 101)
	Fließrichtung darstellen (S. 101)
	Gradienten der Gewässersysteme berechnen (S. 177)
	Kontrollen (S. 177)

4.3.3.7 Symbolleiste Layer

(Modell- und Plotdatei)

Symbol:	Bedeutung:
	Farben ändern (S. 169)
	Farbflächen optimieren (S. 169)
	Layer aktivieren (S. 169)
	Projektmanager anzeigen (S. 97)
	Layer löschen (S. 169)
	Layer eine Position vor (S. 169)
	Layer eine Position zurück (S. 169)
	Layer nach vorne (S. 169)
	Layer nach hinten (S. 169)
	Layer verschieben (S. 169)

4.3.3.8 Symbolleisten Objekteigenschaften und Zeichnen

Es erscheint eine Symbolleiste zur Festlegung der Objekteigenschaften und eine weitere zum Zeichnen neuer Objekte. Beide Symbolleisten können im Modus Modell- und Plotdatei verwendet werden.

Objekteigenschaften:

Durch Einblenden der Symbolleiste "Objekteigenschaften" können die Objektattribute vorgewählt und mit dem Button "Objekteigenschaften zuweisen" ( ) nach Anklicken des entsprechenden Objekts (Marker, Linie, Text) zugewiesen werden. Vorab lassen sich die vorhandenen Objekteigenschaften durch Auswahl des Buttons "Objekteigenschaften anzeigen" ( ) und anschließendem Auswählen des gewünschten Objekts mit der linken Maustaste anzeigen.

Symbol:	Objektattribute:
	Objektfarbe wählen
	Markertyp wählen
	Linientyp wählen
Helvetica Standard	Schriftart und -typ wählen
H	Schrift-/Markerhöhe wählen
W	Winkel wählen
T	Text eingeben

Zeichnen

Symbol:	Bedeutung:
	Objekteigenschaften anzeigen
	Objekteigenschaften zuweisen
	Marker zeichnen (S. 171)
	Linie zeichnen (S. 171)
	Dreieck zeichnen (S. 171)
	Rechteck zeichnen (S. 171)
	Polygon zeichnen (S. 171)
	Gefülltes Dreieck zeichnen (S. 171)
	Gefülltes Rechteck zeichnen (S. 171)
	Gefülltes Polygon zeichnen (S. 171)
	Textobjekt erstellen (S. 171)
	Alle Textobjekte vergrößern (S. 171)
	Alle Textobjekte verkleinern (S. 171)
	Objekt eine Position vor (S. 171)
	Objekt eine Position zurück (S. 171)
	Objekt nach vorne (S. 171)
	Objekt nach hinten (S. 171)

4.3.3.9 Symbolleiste Ploterstellung

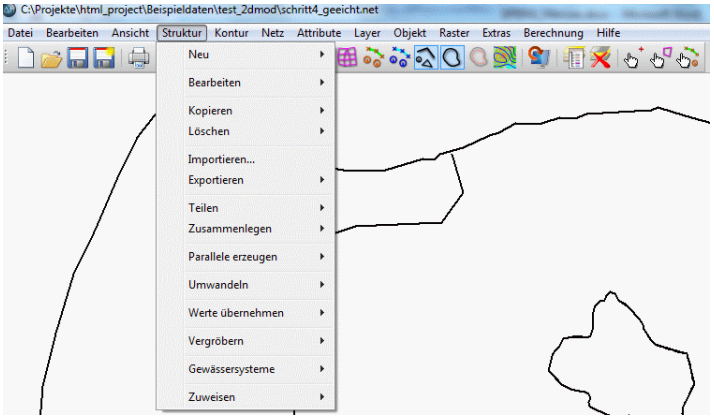
Es erscheint eine Symbolleiste, in welcher die drei Arten der Ploterstellung (Draufsicht/Kartenerstellung , Ansicht/Profildarstellung , 3D-Drahtmodell) aufgerufen werden können oder eine Aktualisierung des dargestellten Plots möglich ist:

Ploterstellung:

Die Arten der Ploterstellung (S. 357) sind in dem gleichnamigen Kapitel beschrieben. Der Button ermöglicht es, das aktuell geöffnete Dokument erneut zu laden.

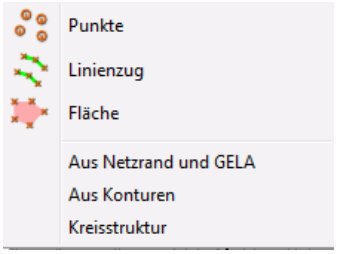
4.4 Struktur

Das Struktur-Menü ist nur im Modus Modelldatei wählbar. Folgende Menü-Punkte stehen zur Verfügung:



Neu

Im Untermenü können folgende Aktionen gewählt werden:



Zunächst wird ausgewählt, welcher Strukturtyp

- Punkte
- Linienzug
- Fläche
- Aus Netzrand und GELA
- Aus Konturen
- Kreisstruktur

erzeugt werden soll.

Nach Auswahl des Strukturtyps kann die gewünschte Struktur im Hauptfenster von SPRING erzeugt werden. Nach Bestätigen mit der rechten Maustaste erscheint das Eingabefenster: „(p-, l-, f-)-Struktur modifizieren“.

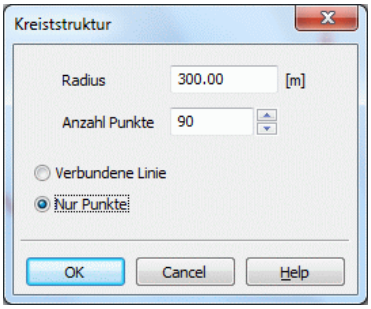
Dieses Eingabefenster wird im Menüpunkt *Struktur → Bearbeiten* ausführlich beschrieben.

Der Menüpunkt *Aus Netzrand und GELA* erzeugt eine neue l-Struktur auf dem Netzrand (mit Punkten an allen Randknoten) und weist diesen die Werte der Geländeoberfläche zu. Dies ist sehr hilfreich, wenn z.B. Randpotentiale mit einem Wert „GELA – x“ erzeugt werden sollen.

Der Menüpunkt *Aus Konturen* erzeugt aus den vorhandenen Konturen neue Strukturen. Er ist nur aktiv, wenn Konturen bereits vorhanden sind.

Kreisstruktur

Durch Aktivieren des entsprechenden Menüpunktes kann eine Kreisstruktur erstellt werden. Mit dem Auswahl-Cursor wird der Mittelpunkt des Kreises festgelegt. Es erscheint ein Eingabefenster, in dem die Parameter des Kreises bestimmt werden:



Die *Anzahl Punkte* beschreibt die Anzahl der Strukturpunkte, die für die Diskretisierung erstellt werden sollen. Bei 90 Punkten beträgt der Punktabstand 4° des Kreisumfangs.

Die Auswahl *Verbundene Linie* und *Nur Punkte* beschreibt die Ansicht, wie die Kreisstruktur dargestellt werden soll. Die folgende Abbildung zeigt die Darstellungsart *Nur Punkte:*

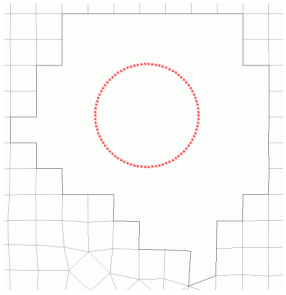


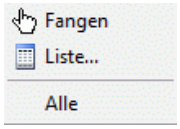
Abb. 59: Kreisstruktur, dargestellt mit Punkten

Bearbeiten

Da dieser Menüunterpunkt sehr komplex ist, wird er in einem gesonderten Unterkapitel behandelt.

Kopieren

Die Auswahl, welche Struktur kopiert werden soll, erfolgt im Untermenü:



Es können über *Fangen* oder über *Liste* einzelne Strukturen gezielt ausgewählt werden. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit *Alle Strukturen* zu kopieren.

Die ausgewählte Struktur wird komplett kopiert (Attribute, Strukturtyp, Koordinaten, Werte und Darstellungsattribute). Eine Kopie erkennt man an einem dem Strukturnamen angehängten @.

Mit Hilfe des Kopierens von Strukturen können z.B.

- mehrere geometrisch identische Strukturen mit unterschiedlichen Kennungen und Werten erzeugt werden. Eine Linien-Struktur für einen Vorfluter kann so zum Beispiel gleich dreimal notwendig sein: für die Vorfluthöhen (Attribut VORF), für den Leakagekoeffizienten (Attribut LERA) und für die automatische Markierung des Polygonzug (Attribut MARK).
- geometrisch ähnliche Strukturen durch Kopieren und anschließendes *Bearbeiten* erzeugt werden.
- Strukturen gesichert werden, die in instationäre Strukturen umgewandelt werden sollen. Dieser Vorgang ist nicht rückgängig zu machen.

Achtung! Da Original und Kopie einer Struktur übereinander liegen, wird beim *Fangen* immer nur die Kopie gefunden, da diese als erstes Objekt dargestellt ist. Hier hilft die Auswahl der Struktur über die *Liste*.

Löschen

Im Untermenü

werden verschiedene Möglichkeiten angeboten, Strukturen zu löschen:

Beim *Fangen (separat)* werden eine oder mehrere Strukturen nacheinander ausgewählt und gelöscht.

Beim *Fangen (Polygon)* werden alle Strukturen in dem gepickten Polygon gelöscht.

Bei Auswahl von *Liste…* können die zu löschenden Strukturen innerhalb der Liste ausgewählt werden.

Bei Auswahl von *Alle Strukturen löschen* werden alle Strukturen gelöscht.

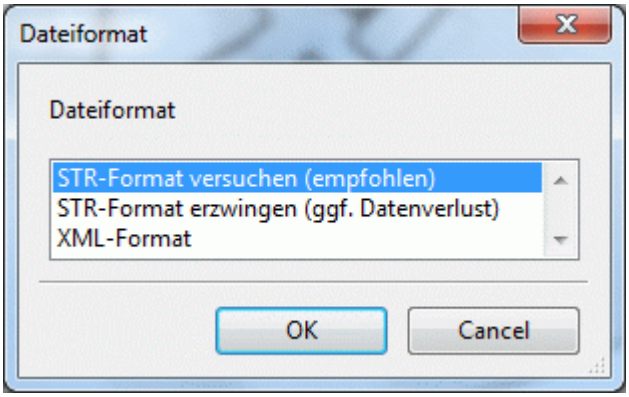
Importieren…

Da dieser Menüunterpunkt sehr komplex ist, wird er in einem gesonderten Unterkapitel behandelt: Importieren von anderen Formaten (S. 119)

Exportieren…

Beim Menüpunkt *Exportieren…* besteht die Möglichkeit, entweder eine Auswahl an Strukturen über die *Liste…* oder *Alle…* Strukturen zu exportieren.

Wenn nur ausgewählte Strukturen exportiert werden sollen, erscheint zunächst der Listendialog mit den vorhandenen Strukturen. Nachdem die Auswahl getroffen und der Dialog mit OK geschlossen wurde, wird nach dem Speicherort der exportierten Strukturdatei (*.str) gefragt. Wenn alle Strukturen exportiert werden, erscheint der Dateidialog sofort. Im Anschluss daran erscheint das folgende Auswahlfenster:



Es besteht die Möglichkeit, die Dateien im Strukturdatenformat (ASCII) oder im XML-Format zu speichern.

Teilen

Vorhandene Linien-Strukturen können über dieses Menü an mehreren Punkten geteilt werden (z.B. zum Auftrennen einer LERA-Struktur für die Zuweisung abschnittweise unterschiedlicher Leakagekoeffizienten).

Ist eine Linien-Struktur ausgewählt (Fangen/Liste), wird sie automatisch an den gepickten Teilungspunkten getrennt. Kennungen, Strukturtyp, Koordinaten, Werte und Darstellungsattribute bleiben mit der Original-Struktur identisch. Nur der Infotext der Strukturen wird ergänzt um den Text "(n)" wobei n die Nummer des entsprechenden Teilstücks ist.

Zusammenlegen

Über dieses Menü können zwei Punkt- oder Linienstrukturen zu einer Struktur zusammengefasst werden.

Es besteht die Möglichkeit, die Punkt- oder Linienstrukturen entweder interaktiv am Bildschirm zu *Fangen* oder über die *Liste...* auszuwählen.

Bei Wahl von zwei Punktstrukturen werden die Punkte (x, y + Werte) der zweiten Punktstruktur zur ersten Punktstruktur hinzugefügt. Der Info-Text der zweiten Punktstruktur geht bei dieser Aktion verloren!

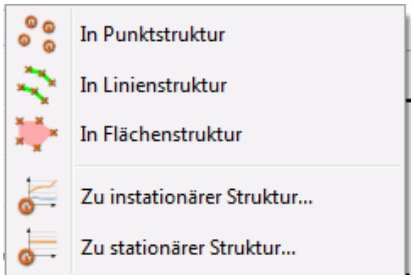
Werden zwei Linienstrukturen ausgewählt, werden die Abstände der Strukturanfangs- und Endpunkte berechnet und die beiden Strukturlinien an den Enden zusammengesetzt, an denen der berechnete Abstand am geringsten ist. In dem Fall, dass die ausgewählten Linienstrukturen einen gemeinsamen Anfangs- oder Endpunkt haben, kann dies dazu führen, dass in der zusammengefassten Linienstruktur die Wert-Information einer der beiden Punkte verloren geht. Die neue Linienstruktur erbt den Info-Text der ersten ausgewählten Linienstruktur. Der Info-Text der zweiten Linienstruktur geht bei dieser Aktion verloren!

Parallele erzeugen

Die Vorgehensweise und die zu bearbeitenden Eingabefenster sind im Kapitel „Einbau einer neuen Struktur in ein bestehendes Modell“ auf Seite **199** eingehend erläutert.

Umwandeln

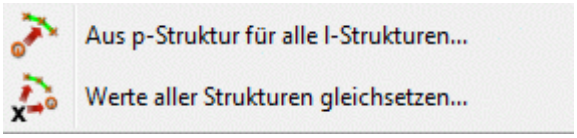
Zunächst erscheint ein Untermenü, in dem die folgenden Auswahlmöglichkeiten zur Verfügung stehen:



Nach Auswahl der zu ändernden Struktur lässt sich z.B. in der Listenauswahl anhand des Strukturtyps feststellen, dass sich dieser geändert hat (p, l, f). Es ist eine Umwandlung in jede Richtung möglich.

Bei Umwandlung in eine instationäre Struktur ist die Änderung in der Listenauswahl anhand des dem Strukturtyp vorangestellten „g“ erkennbar.

Es erscheint folgender Menüpunkt:



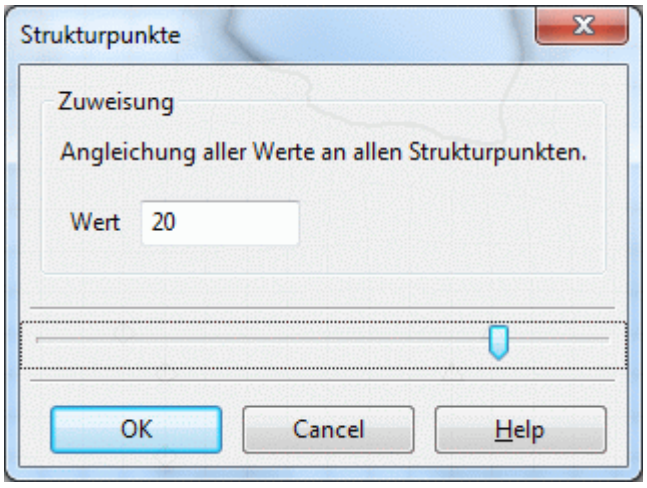
Dieser Menüpunkt ist nur dann aktiv, wenn mindestens eine Punkt- und eine Linienstruktur vorhanden sind.

- Aus p-Struktur für alle l-Strukturen

Der Menüpunkt ermöglicht die Übernahme der Werte einer Punktstruktur (z.B. ein Geländemodell) auf alle Linienstrukturen.

- Werte aller Strukturen gleichsetzen

Mithilfe dieses Menüpunktes kann allen Strukturen ein einheitlicher Wert zugewiesen werden. Es erscheint das folgende Eingabefenster:



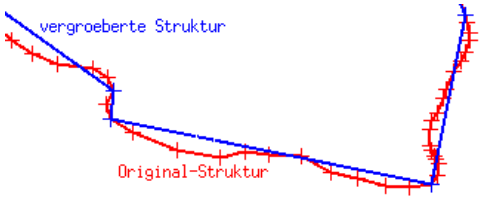
Nach Eingabe und Bestätigen des Wertes mit OK erhalten sämtliche Linien-, Punkt- oder Flächenstrukturen an ihren vorhandenen Strukturpunkten den eingegebenen Wert.

.

Vergröbern

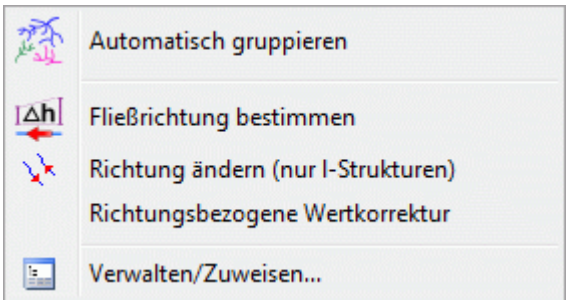
Nach Auswahl des Selektionsmodus im Untermenü:

und Auswahl der entsprechenden Strukturen erscheint ein Untermenü, im dem ein maximaler Abstand für die "vergröberte" Linienstruktur definiert werden muss. Punkte werden dann gelöscht, wenn der Abstand des Punktes zur übrig bleibenden Strecke kleiner ist als der hier eingegebene Abstand:



Gewässersysteme

Bei diesem Menüpunkt geht es um die Bearbeitung von Gewässernetzwerksystemen. Zur Bearbeitung stehen folgende Untermenüpunkte zur Verfügung.



- Automatisch gruppieren

Durch diesen Menüpunkt werden Gewässerstrukturen (Linienstrukturen mit Attribut VORF) automatisch in zusammenhängende Gruppen

(Flussnetzwerke) zusammengefasst. Zusammen gehörende Strukturgruppen werden farbig markiert.

- Fließrichtung bestimmen

Dieser Menüpunkt ermittelt die Fließrichtung von Gewässernetzen und richtet Gewässerstrukturen nach deren Wasserstand aus, die Fließrichtung wird durch Pfeile markiert.

- Richtung ändern (nur l-Strukturen)

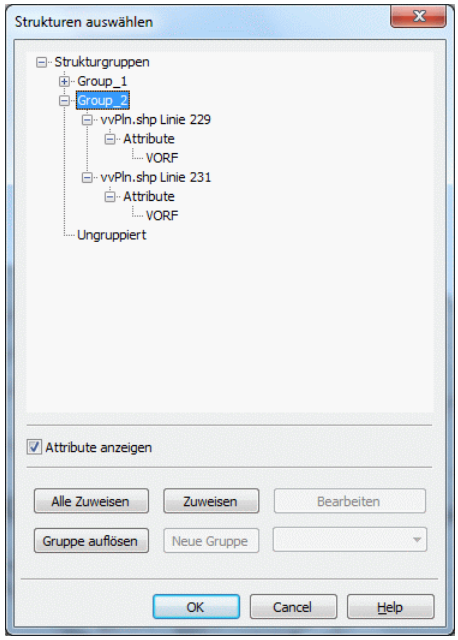
Durch Wahl dieses Menüpunktes wird die Richtung von selektierten Vorflutstrukturen geändert.

- Richtungsbezogene Wertkorrektur

Durch Wahl dieses Menüpunktes werden Strukturwerte, deren (Vorflut-)Höhen nicht in Fließrichtung absteigen, aussortiert.

- Verwalten/Zuweisen…

Nach der *automatischen Gruppierung* können die Strukturgruppen verwaltet werden. Es erscheint ein Eingabefenster zum *Anzeigen/Auflösen/Zuweisen* von Strukturgruppen:



In dem Dialog werden:

- die zu einzelnen Gewässersystemen zusammengefassten Strukturgruppen sowie
- die Anzahl der nicht zu Gewässersystemen gehörenden Strukturen dargestellt.

Nicht zu den Gewässersystemen gehören Punkt- oder Flächenstrukturen sowie Linienstrukturen, die nicht mit dem Attribut VORF belegt sind. Wenn Strukturgruppen vorliegen, kann man diese entweder "alle" oder "einzeln" zuweisen.

Über "Gruppe auflösen" kann man einzelne Gruppen löschen, über "Neue Gruppe" kann man neue Gruppen erzeugen.

Nach der Zuweisung kann man sich alle zugewiesenen Gewässersysteme über *Ansicht →Attribute darstellen → Gewässersysteme* einblenden.

Zuweisen

Da dieser Menüunterpunkt sehr komplex ist, wird er in einem gesonderten Unterkapitel behandelt (S. 122).

4.4.1 Strukturen bearbeiten

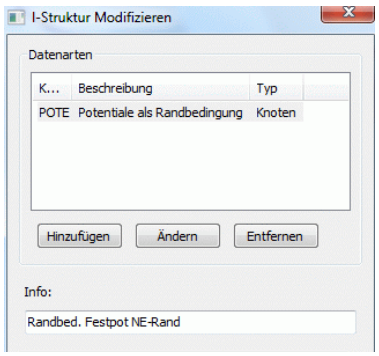
Nach Auswahl der Struktur über

erscheint je nach Strukturtyp eines der folgenden Eingabefenster (zum Fangen einer Struktur muss diese eingeblendet sein: oder über *Ansicht → Strukturen*):

Die Bereiche *Datenart* und *Info* sind für alle Strukturtypen gleich.

Die Bereiche *Darstellung*, *Werte* und *Geometrie* sind abhängig vom gewählten Strukturtyp.

Bereich Datenart und Info:



Wahl der Datenart: Hier wird bestimmt, welches Attribut dieser Struktur zugewiesen wird. Bei Auswahl von *Hinzufügen* können einer Struktur mehrere Attribute zugewiesen werden (z.B. VORF und LEKN an einem Vorfluter). Es erscheint ein Auswahlfenster mit den möglichen Attributen.

Bei Auswahl von *Ändern* kann das Attribut der ausgewählten Struktur geändert werden.

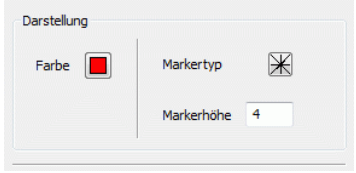
Entfernen löscht das markierte Attribut aus der Liste.

Im Bereich *Info* erscheint der Strukturname.

Bereich Darstellung, Werte und Geometrie:

- bei p-Strukturen gibt es folgende Eingabemöglichkeiten:

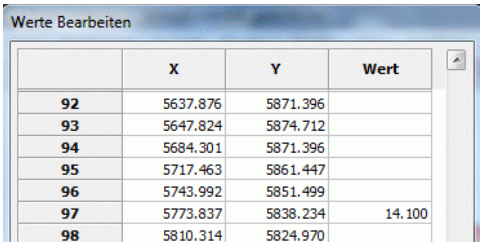
Bereich *Darstellung:*



Hier kann die voreingestellte Farbe, der Markertyp und die Markerhöhe (in Pixel) beim Einblenden der Struktur beliebig verändert werden. Dies hilft, die einzelnen Strukturen in der grafischen Darstellung zu unterscheiden.

Bereich *Werte*:

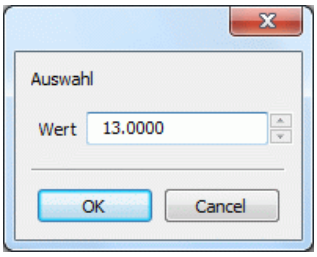
Bearbeiten: Es erscheint eine Tabelle mit den x-, y-Koordinaten sowie den zugewiesenen Werten der einzelnen Strukturpunkte. Jedem Strukturpunkt kann hier ein Wert zugewiesen werden:



Die Werte können einzeln, durch Mehrfachmarkierungen oder global durch Auswahl der Spalte zugewiesen werden:

Einzelne Werte werden durch Eingabe in die Spalte „Werte“ zugewiesen. Sollen mehrere Strukturpunkte mit demselben Wert belegt werden, so sind einzelne oder mehrere Zellen mit der linken Maustaste und gleichzeitigem Drücken der Tasten "SHIFT" oder "STRG" zu markieren. Anschließend ist über einen Rechtsklick das folgende Kontextmenü zu öffnen:

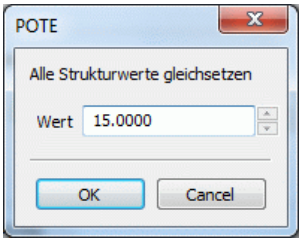
Nach Auswahl von „Wert setzen…“ öffnet sich ein Dialogfenster, in dem der Wert für die markierten Zellen festgelegt wird:



Durch Bestätigen mit "OK" werden die Werte zugewiesen.

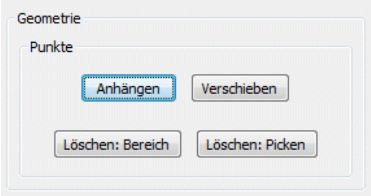
Alle Löschen: Alle zugewiesenen Werte an den Strukturpunkten werden gelöscht.

Alle gleich: Allen Strukturpunkten kann über den folgenden Dialog ein einheitlicher Wert zugewiesen werden:



Darstellen: Die der Struktur zugewiesenen Werte werden am Bildschirm dargestellt.

Bereich *Geometrie*:



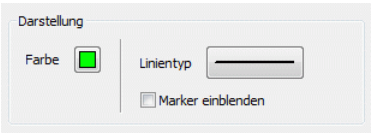
Anhängen, Verschieben: Durch *Anhängen* können einer p-Struktur weitere Strukturpunkte hinzugefügt werden. Durch *Verschieben* können einzelne Strukturpunkte in ihrer Lage verschoben werden.

Löschen: Bereich/Löschen Picken: Hier können Strukturpunkte in einem Bereich oder einzeln gelöscht werden.

Erst durch Bestätigen mit dem OK-Button werden die Änderungen an der Struktur wirksam!

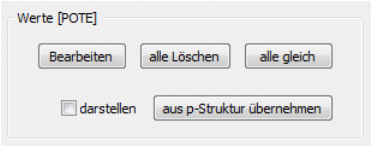
- bei l-Strukturen gibt es folgende Eingabemöglichkeiten:

Bereich *Darstellung:*



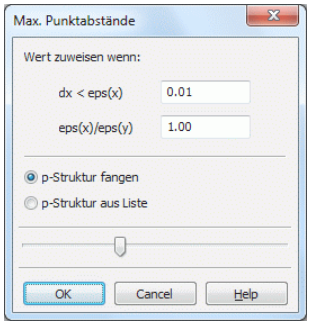
Hier kann die voreingestellte Farbe und der Linientyp beim Einblenden der Struktur beliebig verändert werden. Dies hilft, die einzelnen Strukturen in der grafischen Darstellung zu unterscheiden. Zusätzlich werden durch Aktivieren des Kontrollkästchens *Marker einblenden* sämtliche Strukturpunkte dargestellt, dadurch sind die einzelnen Streckenabschnitte der Strukturlinie erkennbar.

Bereich *Werte*:



Zusätzlich zu den unter der p-Struktur beschriebenen Eingaben ist bei der l-Struktur die folgende Zuweisung möglich.

Aus p-Struktur übernehmen: Hiermit werden die Werte aus einer Punktstruktur auf eine Linienstruktur übertragen. In einem Dialog muss ein maximaler Koordinatenabstand (dx) sowie das Verhältnis der x- und y-Abstände des Knotens/Elementmittelpunktes (eps(x)/eps(y)) zum Strukturpunkt definiert werden.



Liegt ein Punkt der ausgewählten Punktstruktur nach dieser Definition nahe genug an einem Punkt einer Linien-Struktur, erhält der Linienstrukturpunkt den Wert aus der Punktstruktur.

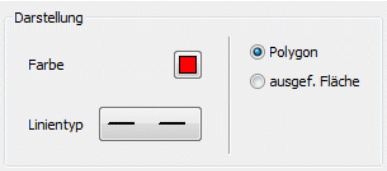
Die gewünschte p-Struktur kann entweder *gefangen* (wenn die Strukturen eingeblendet sind) oder aus einer *Liste* ausgewählt werden.

Bereich *Geometrie*:

Anhängen, Einfügen, Verschieben: Durch *Anhängen* können einer l-Struktur an den Endpunkten weitere Strukturpunkte hinzugefügt werden. Durch *Einfügen* können zwischen zwei Strukturpunkten weitere Punkte eingefügt werden. Durch *Verschieben* können einzelne Strukturpunkte in ihrer Lage verschoben werden.
Löschen → Bereich/Picken: Hier können Strukturpunkte in einem Bereich oder einzeln gelöscht werden.
Erst durch Bestätigen mit dem OK-Button werden die Änderungen an der Struktur wirksam.

- bei f-Strukturen gibt es folgende Eingabemöglichkeiten:

Bereich *Darstellung:*

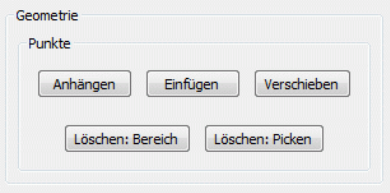


Hier kann die voreingestellte Farbe und der Linientyp beim Einblenden der Struktur beliebig verändert werden. Der Linientyp ist nur relevant, wenn die Flächenstruktur als *Polygon* dargestellt werden soll. Bei Darstellung der Struktur als *ausgefüllte Fläche* wird die ausgewählte Farbe verwendet. Dies hilft, die einzelnen Strukturen in der grafischen Darstellung zu unterscheiden.

Bereich *Werte*:

Die Möglichkeiten der Eingabe entsprechen denen, die bei einer p-Struktur möglich sind.

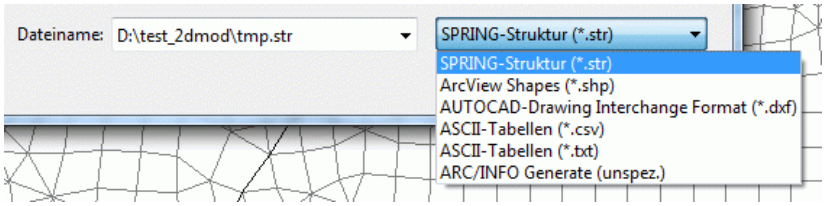
Bereich *Geometrie*:



Einfügen, Verschieben: Durch *Einfügen* können zwischen zwei Strukturpunkten weitere Punkte eingefügt werden. Durch *Verschieben* können einzelne Strukturpunkte in ihrer Lage verschoben werden.
Löschen → Bereich/Picken: Hier können Strukturpunkte in einem Bereich oder einzeln gelöscht werden.
Erst durch Bestätigen mit dem OK-Button werden die Änderungen an der Struktur wirksam.

4.4.2 Importieren von anderen Formaten

Beim *Importieren* von Strukturen kann zwischen mehreren Datenformaten gewählt werden:

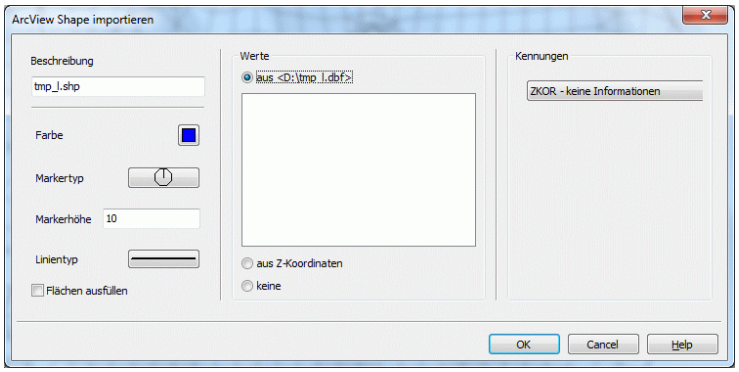


Während es bei dem Strukturdatenformat keine weiteren Abfragen gibt, erscheinen bei den „SPRING-fremden“ Formaten weitere Eingabefenster zum Einlesen der Dateien.

- ArcView Shape Format (*.shp)

Punkt-, Linien- oder Flächeninformationen, die im ArcView Shape-Format vorliegen, können als Strukturen übernommen werden.

Nach Auswahl einer *.shp-Datei erscheint das folgende Eingabefenster:

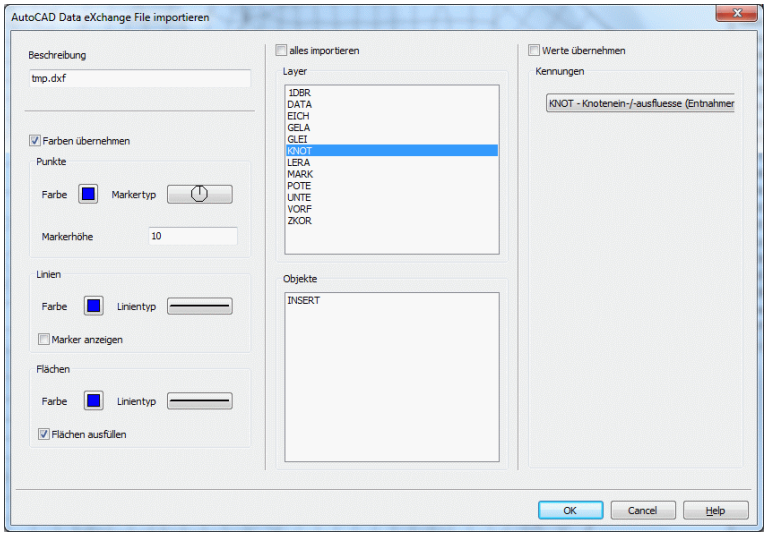


Wie beim *Bearbeiten* einer Struktur können hier die Darstellungsattribute gewählt, sowie die Wert- und Attributzuweisungen vorgenommen werden.

- AUTOCAD *.dxf-Format

Punkt-, Linien- oder Flächeninformationen, die im AUTOCAD *.dxf-Format vorliegen, können als Strukturen übernommen werden.

Nach Auswahl einer *.dxf-Datei erscheint das folgende Eingabefenster:



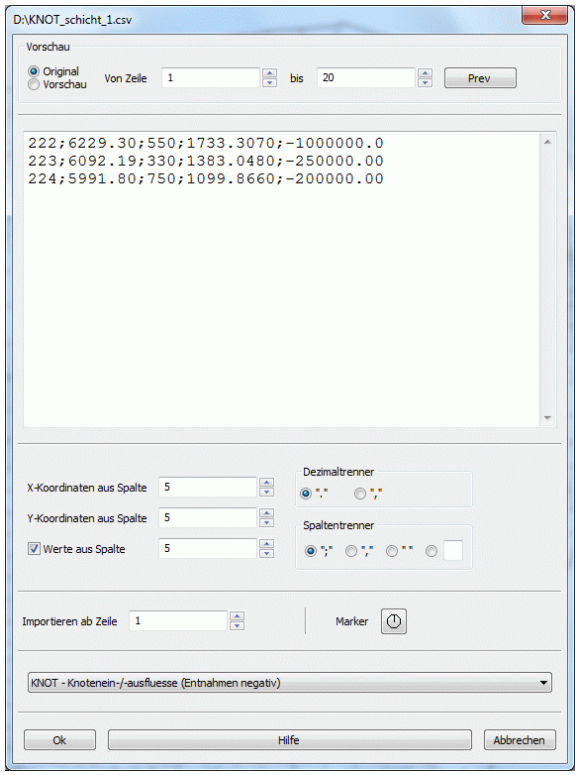
Neben den Darstellungsattributen für die unterschiedlichen Strukturtypen und der Attributzuweisung kann hier gewählt werden, ob alle Layer der *.dxf-Datei oder nur einzelne anhand einer Listenauswahl importiert werden. Die Werte können auf Wunsch ebenfalls übernommen werden.

- ASCII-Tabellen *.csv-Format:

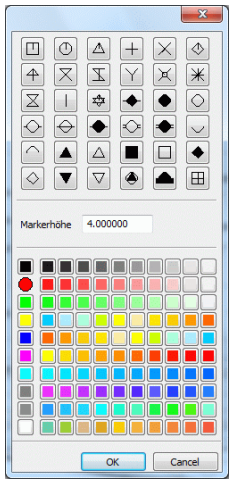
Oftmals sollen Daten aus Datenbankanwendungen für die Projekterstellung als Strukturen übernommen werden. In diesem Fall ist es möglich, die entsprechenden Daten (Koordinaten und eventuelle Werte an den Koordinaten) tabellarisch aus einer ASCII-Datei zu importieren.

Dies kann in Form von Trennzeichen getrennten Text (Comma separated Value: *.csv Format) geschehen. Solche Daten können dann als Punkt-Strukturen in SPRING eingelesen werden.

Nach Auswahl einer *.csv-Datei erscheint das folgende Eingabefenster:

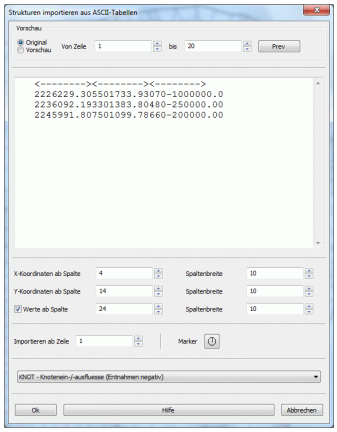


Hier muss der Anwender explizit eingeben, welcher Spalte die x- und y-Koordinaten sowie die z-Werte zugeordnet sind. Es ist anzugeben, welche Dezimal- und Spaltentrenner in der *.csv-Datei verwendet werden. Der Datenart kann ein farbiger Marker zugewiesen werden, mit dem die Datenpunkte dargestellt werden.



Der Import der Daten kann ab einer bestimmten Zeile erfolgen. Sollten in der Datei Spaltenüberschriften vorhanden sein, so ist der Import ab Zeile zwei zu beginnen. Zuletzt wird die Datenart ausgewählt, der die z-Werte zugewiesen werden sollen.

- ASCII-Tabellen *.txt-Format:



Das Format der txt-Datei muss die Werte (x, y und ggf. z) in Blöcken spaltenweise enthalten.

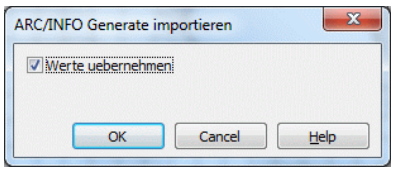
Hier wird den x- und y-Koordinaten sowie den z-Werten die jeweilige Anfangsspalte zugeordnet sowie die Spaltenbreite, die jeder Wert in Anspruch nimmt. Der Datenart kann ein farbiger Marker zugewiesen werden, mit dem die Datenpunkte dargestellt werden (siehe *.csv-Format). Der Import der Daten kann ab einer bestimmten Zeile erfolgen. Sollten in der Datei Überschriften vorhanden sein, so ist der Import ab Zeile zwei zu beginnen.

Zuletzt wird die Datenart ausgewählt, der die z-Werte zugewiesen werden sollen.

- ARCINFO Generate-Format (*.bru, *.pkt, *.umr)

Punkt- und Linieninformationen, die im ARCINFO Generate-Format vorliegen, können als Strukturen übernommen werden.

Nach Auswahl einer *.bru, *.pkt oder *.umr-Datei erscheint das folgende Eingabefenster:

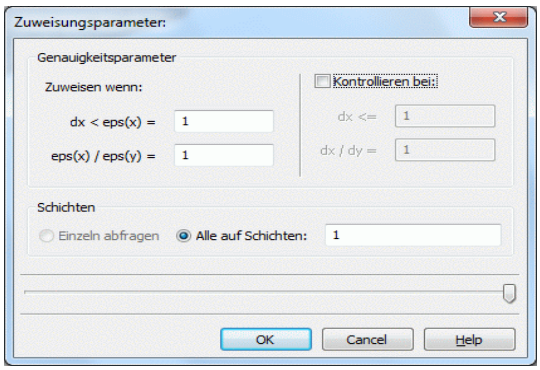


Hier ist allein die Auswahl möglich, ob die vorhandenen Werte übernommen werden sollen.

4.4.3 Strukturen zuweisen

Strukturen enthalten neben den geometrischen Lageinformationen auch Werte, die zusammen mit der Kennung der Struktur ein Zuweisen dieser Werte auf Netzknoten bzw. Elemente ermöglicht.

Eingeblendete Strukturen können mit *Fangen* ausgewählt werden. Über die Menüpunkte *Liste* bzw. *Alle...* können einzelne oder alle Strukturen zum Zuweisen gewählt werden. Danach erscheint ein Eingabefenster zur Definition der Zuweisungsparameter:



Bedeutung der Dialogeingaben am Beispiel der Zuweisung von Punkt-Strukturen:

- Zuweisen von Punkt-Strukturen:

Ist das Attribut eine Knotendatenart, wird allen Knoten, die maximal einen horizontalen Abstand von dx < eps(x) zu einem Strukturpunkt mit definiertem Wert haben, die Datenkennung mit diesem Wert automatisch zugewiesen.

Bei Elementdatenarten muss der Elementmittelpunkt zwecks Zuweisung maximal im Abstand dx < eps(x) zum Strukturpunkt liegen (vgl. Abb. 59).

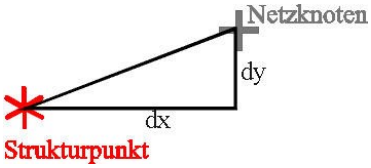


Abb. 60: Abstandsdefinition für die Zuweisung von Strukturdaten

Beträgt das Verhältnis eps(x)/eps(y) =1, werden allen Knoten oder Elementmittelpunkten innerhalb eines Kreises mit Radius dx um den Strukturpunkt Daten zugewiesen. Wird jedoch der Abstand dx < eps(x) = 60 m und das Verhältnis eps(x)/eps(y) = 10 gesetzt, werden allen Knoten oder Elementmittelpunkten innerhalb einer Ellipse mit einem Halbachsenwert x = 60 m und y = 6 m um den Strukturpunkt Daten zugewiesen. Wird z.B. der Abstand dx < eps(x) = 60 m und das Verhältnis eps(x)/eps(y) = 0.1 gesetzt, werden allen Knoten oder Elementmittelpunkten innerhalb einer Ellipse mit einem Halbachsenwert x = 60 m und y = 600 m um den Strukturpunkt Daten zugewiesen.

Durch die Zuweisungskontrolle kann eine Toleranzgrenze bestimmt werden, in der Knoten oder Elementmittelpunkten, die einen geringfügig größeren Abstand als dx zu einem Strukturpunkt haben, trotzdem nach Abfrage Strukturdaten zugewiesen werden.

Bei 3D-Modellen ist noch die Knoten- bzw. Elementschicht vorzugeben. Es ist möglich, auch mehrere Schichten auf einmal anzugeben (Schichtnummern durch Komma oder Semikolon getrennt oder durch einen Bindestrich verbunden).

- Zuweisen von Linien-Strukturen:

Das Zuweisen von Linienstrukturen ist nur sinnvoll, wenn die Linienstrukturen die Kennung einer Knotendatenart haben.

Für das Zuweisen einer Linienstruktur muss diese an mindestens einem Strukturpunkt einen definierten Wert haben.

Allen Knoten, die gemäß der obigen Abstandsdefinition nahe genug an der Strukturlinie liegen wird automatisch ein Wert für die entsprechende Kennung zugewiesen.

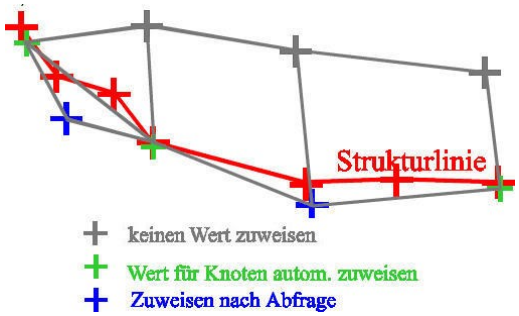


Abb. 61: Zuweisung von Strukturdaten bei Linienstrukturen

Je nach Datenart erfolgt eine unterschiedliche Zuweisung der Daten:

- Bei einfach belegten Knotendaten ergibt sich der Wert durch lineare Inter- bzw. Extrapolation der belegten Strukturwerte.
- Bei Polygonzugdaten und Gruppendaten erhalten alle Knoten, die innerhalb eines Wertebereiches der Struktur liegen, den entsprechenden Wert dieses Wertebereiches.

Achtung: Strukturdaten für Polygonzugdaten- oder Gruppendatenkennungen (z.B. LERA, MXKI oder BILA) werden beim Zuweisen in Wertebereiche eingeteilt. Diese Bereiche erstrecken sich jeweils zwischen zwei Strukturpunkten mit unterschiedlichen Einträgen. Es werden genau diese Werte zugewiesen, ohne dass eine Interpolation durchgeführt wird. Das Ergebnis sind Strukturen, die bereichsweise einen konstanten Wert haben. Von Wertebereich zu Wertebereich entstehen Wertsprünge in den Strukturpunkten mit neuen Werten.

- Zuweisen von Flächen-Strukturen:

Das Zuweisen von Flächenstrukturen ist nur bei einfach belegten Daten und Gruppendatenkennungen möglich. Jeder Knoten, der innerhalb oder auf dem Rand der Flächenstruktur liegt, bzw. jedes Element, dessen Mittelpunkt innerhalb oder auf dem Rand der Flächenstruktur liegt, erhalten automatisch einen Wert. Bei Flä-

chen-Strukturen gibt es keine Genauigkeitsabfrage oder Zuweisungskontrolle wie bei Linien- oder Punkt-Strukturen.

Der zugewiesene Wert der Kennung an dem entsprechenden Knoten ergibt sich dabei wie folgt:

- Bei Gruppendaten erhalten alle Knoten bzw. Elemente in der Fläche den ersten an einem Eckpunkt der Flächenstruktur definierten Wert.
- Bei einfach belegten Daten werden die ersten drei Werte an Eckknoten der Flächenstruktur verwendet, um eine "schiefe Ebene" zu definieren. Der Wert im Knoten bzw. Element ergibt sich dann aus der Lage des Knotens bzw. Elementmittelpunktes in dieser schiefen Ebene. Hat die Flächenstruktur nur an einem Eckpunkt einen definierten Wert oder sind die ersten 3 gefundenen Werte gleich, so wird allen Knoten/Elementen ein konstanter Wert zugewiesen. Werden mehr als 3 Werte gefunden, gehen diese Werte nicht in die Berechnung ein. Werden nur genau 2 Werte gefunden, wird der zweite Wert nicht interpretiert; es wird nur der erste Wert konstant zugewiesen.

Achtung! Bei Flächenstrukturen für Gruppendatenkennungen (z.B. BILA) wird beim Zuweisen nur ein Wert verwendet.

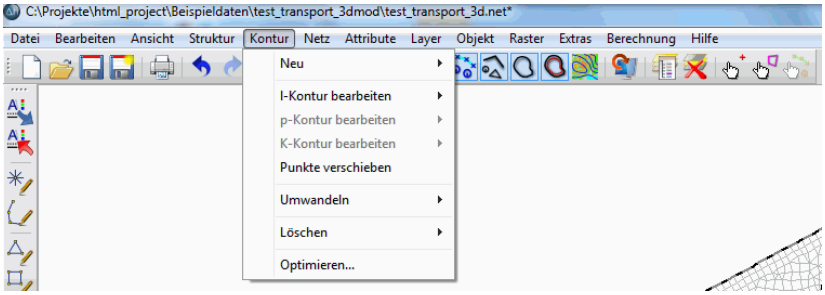
Achtung! Bei Flächenstrukturen für einfach belegte Knoten- oder Elementdatenkennungen werden beim Zuweisen nur maximal drei Werte verwendet. Es ist demnach zwar möglich, aber nicht sinnvoll an mehr als drei Strukturecкpunkten Werte zu definieren.

Die ordnungsgemäße Zuweisung von Polygonzug- und Gruppendaten kann geprüft werden unter *Attribute → Extras → Gruppen- bzw. Polygonzugattribute prüfen*. Wenn sich die erzeugten Attribute mit vorhandenen Attributen der gleichen Datenart überschneiden, werden die betroffenen Attribute als grüne Linien und die Konfliktknoten mit grünen Kreisen dargestellt.

4.5 Kontur

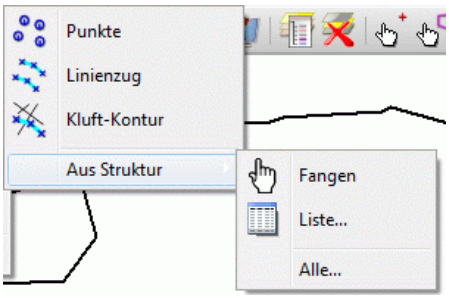
Aus den Konturen werden bei der Netzgenerierung Knoten bzw. Elementkanten. Daher sollten insbesondere die Knotenabstände der Konturen kontrolliert werden.

Das Kontur-Menü ist nur im Modus Modelldatei wählbar. Folgende Menü-Punkte stehen zur Verfügung:



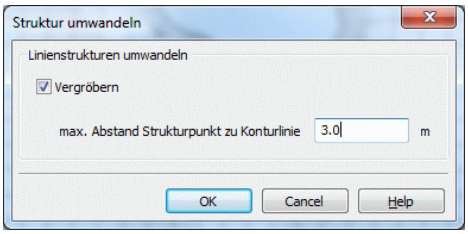
Neu

Im Untermenü



wird zunächst ausgewählt, welcher Konturtyp (Punkt-, Linien- oder Kluft-Kontur) erzeugt werden soll. Nach Auswahl des Konturtyps kann dieser in der grafischen Oberfläche erstellt werden. Es besteht die Möglichkeit, den Fangmodus einzustellen. Entweder kann der Punkt *Frei*, ein *Netzknoten* oder ein *Punkt* gefangen werden.

Es kann eine vorhandene Struktur in eine Kontur umgewandelt werden, indem diese mit *Aus Struktur → Fangen,* mit *Aus Struktur → Liste* oder mit *Aus Struktur → Alle* ausgewählt wird. Es erscheint folgendes Eingabefenster:



Alle Strukturpunkte, die einen Abstand kleiner als den eingegebenen Abstand zur generierten Linienkontur haben, werden nicht berücksichtigt (Abb. 61).

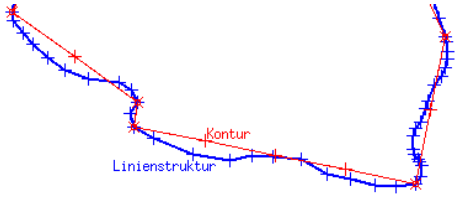
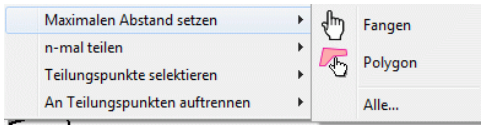


Abb. 62: Konturen aus vergröberten Linienstrukturen

Die Konturen erben von den Strukturen, aus denen sie generiert sind, nur die geometrischen Daten (also Koordinaten der Punkte bzw. Anfangs- und Endpunkte der Strecken). Nach der Übertragung verliert die Kontur den Bezug zu ihrer Ursprungsstruktur.

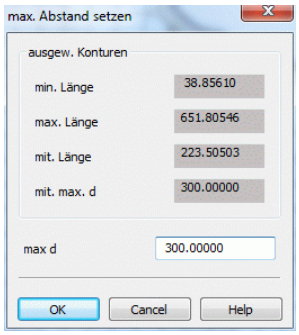
I-Kontur bearbeiten

Die Länge einer Linienkontur kann auf verschiedene Weisen verändert werden. Es erscheint folgendes Untermenü:



- Maximalen Abstand setzen:

Nach Auswahl dieses Menüpunktes kann **eine** Linienkontur gefangen, ein Bereich über ein Polygon oder **alle** Linienkonturen selektiert werden, innerhalb dessen die Länge der l-Konturen bearbeitet werden soll. Nach Drücken der rechten Maustaste erscheint ein Eingabefenster, in dem die gewünschte Länge eingetragen wird. Wird nur eine Linienkontur ausgewählt, wird die tatsächlich vorhandene Länge angezeigt, und eine neue Länge kann definiert werden. Bei Auswahl von mehreren l-Konturen innerhalb eines Polygons erscheint folgendes Fenster:

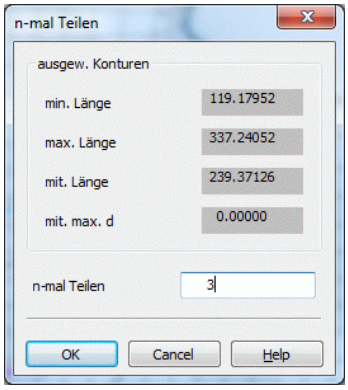


In diesem Fall werden die minimale, maximale und durchschnittliche Länge der selektierten l-Konturen angezeigt, und eine neue Länge kann gewählt werden.

Achtung! Alle bereits vorhandenen Teilungspunkte innerhalb der ausgewählten Konturen werden dadurch gelöscht!

- n-mal teilen:

Nach Auswahl dieses Menüpunktes kann **eine** oder **alle** Linienkontur(en) gefangen oder ein Bereich über ein Polygon selektiert werden, innerhalb dessen Teilungspunkte für die l-Konturen definiert werden sollen. Nach Drücken der rechten Maustaste erscheint ein Eingabefenster, in dem die gewünschte Anzahl der Teilungspunkte eingetragen wird. Wird nur eine Linienkontur ausgewählt, wird die tatsächlich vorhandene Länge angezeigt, und es kann die Anzahl der gewünschten Teilungspunkte eingegeben werden. Bei Auswahl von mehreren l-Konturen erscheint ein Fenster mit den statistischen Werten der ausgewählten Konturen:



Durch Angabe der Anzahl der Teilungspunkte werden die l-Konturen entsprechend äquidistant geteilt. Dabei werden alle bereits vorhandenen Teilungspunkte und ein eventuell definierter maximaler Abstand der ausgewählten Konturen gelöscht.

- Teilungspunkte selektieren:

Nach Auswahl einer l-Kontur (*Fangen*) und Bestätigung mit der rechten Maustaste, können mit der linken Maustaste die gewünschten Teilungspunkte ausgewählt und mit der rechten Maustaste bestätigt werden.

Nach Auswahl mehrerer l-Konturen innerhalb eines *Polygons*, kann eine l-Kontur ausgewählt werden, auf dieser die gewünschten Teilungspunkte mit der linken Maustaste bestimmt und mit der rechten Maustaste bestätigt werden. Die nächste l-Kontur zum Bestimmen der dortigen Teilungspunkte wird anschließend wieder mit der linken Maustaste selektiert.

- An Teilungspunkten auftrennen:

Wurden eine oder mehrere l-Konturen durch Teilungspunkte verkleinert, können diese auch in eigenständige l-Konturen umgewandelt werden. Die gewünschte l-Kontur (*Fangen, im Polygon, Alle*) wird selektiert. Durch Bestätigen mit der rechten Maustaste werden die entsprechenden l-Konturen an ihren Teilungspunkten aufgetrennt.

p-Kontur bearbeiten

An dieser Stelle können die Brunnenparameter für eine oder mehrere p-Konturen gesetzt werden:

Erläuterungen zu diesem Menüpunkt finden sich im Kapitel "Aufbau eines 2D-Modells - Konturen erzeugen“ sowie im Kapitel: “Ortsdiskretisierung: Sonderfall Brunnendiskretisierung“.

Erläuterungen zur Knotengenerierung in Abhängigkeit der Brunnenparameter finden sich im Kapitel: “Algorithmus des Randknotengenerators“.

k-Kontur bearbeiten

Aufgrund der Komplexität wird dieser Menüpunkt im Kapitel: “Kluft-Konturen erstellen“ ausführlich behandelt.

Punkte verschieben

Nach Auswahl dieses Menüpunktes erscheint das Fangmodus-Fenster, in dem gewählt werden kann, ob die Konturpunkte auf freie Koordinaten oder auf bereits vorhandene Punkte (Strukturpunkte oder ggf. schon vorhandene Knoten) verschoben werden sollen.

Umwandeln

Es erscheint ein weiterer Menüpunkt:

Nach Auswahl dieses Menüpunktes werden alle (aufgetrennten) L-Konturen in K-Konturen umgewandelt. L-Konturen mit Teilungspunkten werden dabei vernachlässigt.

Löschen

Im Untermenü kann die Art der Konturen gewählt werden, die gelöscht werden sollen.

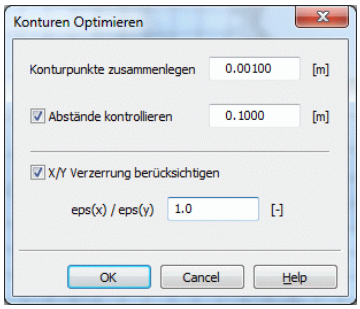
Wenn eine oder mehrere Konturen gelöscht werden sollen, kann die Kontur über *Fangen* oder mehrere Konturen über ein *Polygon* selektiert werden. Es besteht ebenso die Möglichkeit, *Alle p-Konturen*, *Alle l-Konturen* oder *Alle Konturen* zu löschen.

Optimieren…

Bevor die Kontur bei der Netzerstellung berücksichtigt werden kann, muss sichergestellt sein, dass die Kontur optimiert ist, d.h.:

- Konturstrecken dürfen sich nicht schneiden.
- Konturstrecken dürfen nicht (teilweise oder ganz) übereinander liegen.
- Konturpunkte dürfen nur dann auf Konturstrecken liegen, wenn die entsprechende Konturstrecke an diesem Punkt auch einen Teilungspunkt besitzt.
- Konturpunkte, Konturstreckenanfangs-, Konturstreckenend- und Teilungspunkte sollten nicht zu nahe beieinander liegen!
- Für die globalen Knoten- und Elementgenerierungsalgorithmen muss ein geschlossener äußerer Konturrand vorliegen.

Die Kontrolle und Optimierung der einzelnen Konturen erfolgt in diesem Menüpunkt. Die Definition der Abstände erfolgt in folgendem Eingabefenster:



Die Konturpunkte werden zusammengelegt, wenn der vorhandene Abstand kleiner oder gleich dem eingegebenen Wert ist.

Ist der vorhandene Abstand größer als der Abstand zum Zusammenlegen, aber kleiner oder gleich dem Kontrollabstand, werden die betroffenen Konturpunkte rot markiert. Der Anwender kann dann entscheiden, ob die Konturpunkte zusammenfallen sollen. Es ist möglich, durch Angabe eines Verzerrungsfaktors den X- oder Y-Abstand zu wichten.

Bei der Optimierung werden:

- sich kreuzende Konturstrecken an den Kreuzungspunkten getrennt,
- Konturpunkte auf Konturstrecken durch entsprechende Teilungspunkte auf der Konturstrecke abgeglichen und
- überlappende Konturstrecken getrennt und gekürzt.

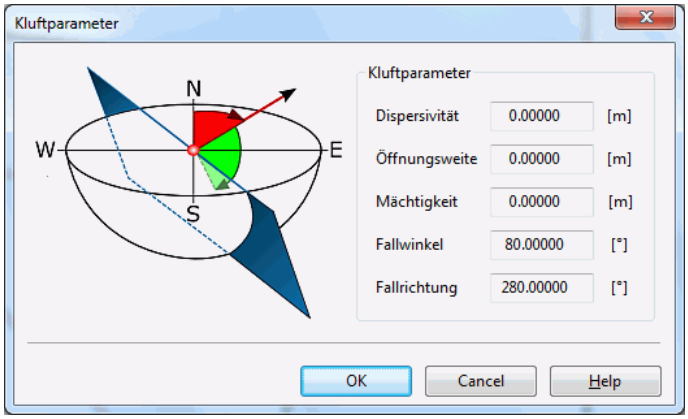
Nach Beenden dieser Optimierung wird versucht, den äußeren Konturrand zu berechnen. Ist dies erfolgreich, erscheint im unteren Bildrand die Meldung „Konturrand geschlossen!“. Ist dies nicht der Fall, erscheint eine Fehlermeldung. Dann müssen die Konturen entsprechend bearbeitet werden, denn mit einem nicht geschlossenen Konturrand können keine Knoten erzeugt werden.

4.5.1 Kluft-Konturen erstellen

In SPRING selbst lassen sich derzeit nur zweidimensionale Klüfte interaktiv am Bildschirm erstellen. 1D-Klüfte müssen mit Hilfe des Kluftgenerators „Klufti.exe“ erstellt werden. Näheres dazu findet sich auf unserer Homepage www.spring.delta-h.deunter „Download&Support“.

Nach Auswahl des Menüpunktes *Kontur → Neu → Kluft-Kontur* lassen sich ein oder mehrere 2D-Kluft-Konturen erstellen. Die Konturlinien sind die Schnittflächen der Klüfte in der Ebene. Nach Festlegen der Kluftlinie anhand von zwei Punkten steht der Menüpunkt *Kontur → k-Konturen bearbeiten* zur Auswahl bereit.

Nach Auswahl der gewünschten Kluft-Konturen (Konturen vorher darstellen!) erscheint folgendes Eingabefenster, in dem die einzelnen Kluftparameter definiert werden:



Kluftparameter

- Dispersivität

Hier wird die Dispersivität der Kluft definiert.

- Öffnungsweite

Hier wird die Öffnungsweite der Kluft definiert.

- Mächtigkeit

Hier wird die Mächtigkeit der Kluft definiert, dies wirkt sich jedoch nur bei 1D-Klüften aus.

- Fallwinkel

Der Fallwinkel beschreibt die Neigung der Kluft im Raum (grüner Sektor in der obigen Abbildung). Er wird nur in 3D-Modellen berücksichtigt.

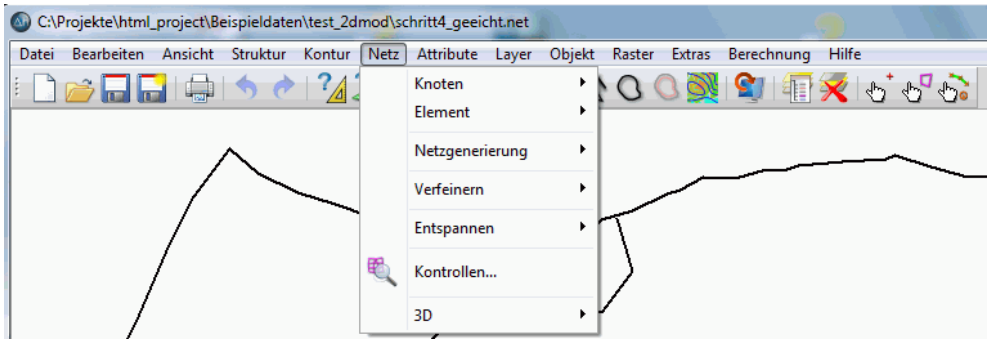
- Fallrichtung

Die Fallrichtung beschreibt die Ausrichtung der Kluft in der Ebene (roter Sektor in der obigen Abbildung). Sie ist die Senkrechte zur Schnittfläche der Kluft (= Verlauf der k-Kontur). Die Fallrichtung wird nur in 3D-Modellen berücksichtigt.

Das Erstellen von k-Konturen und die Eingabe der Kluftparameter kann sowohl im 2D- als auch im 3D-Modell durchgeführt werden. Die Übernahme der k-Konturen als Kluftelemente erfolgt im Menü *Extras → Klüfte → 1D bzw. 2D-Klüfte aus K-Kontur*.

4.6 Netz

Das Netz-Menü ist nur im Modus Modelldatei wählbar. Folgende Menü-Punkte stehen zur Verfügung:



Knoten

Im Untermenü

können die Knoten entsprechend bearbeitet werden.

- Knoten → verschieben:

Mit Hilfe dieses Menü-Punktes kann die geometrische Lage von bestehenden Netzknoten mit Hilfe des Mauscursors verändert werden. Es besteht die Möglichkeit, den gewählten Knoten mit der gedrückten linken Maustaste auf eine beliebige Koordinate (Frei) oder auf einen bereits vorhandenen Punkt zu verschieben (Fangmodus).

Beim Verschieben von Netzknoten muss darauf geachtet werden, dass keine unzulässigen Elemente entstehen, z.B. dass Knoten in andere Elemente hinein verschoben werden.

Durch *Bearbeiten → Undo* oder Wahl des Symbols lässt sich die Verschiebung rückgängig machen.

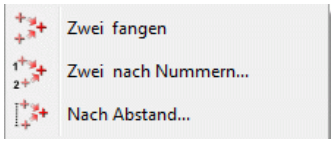
Beim Verschieben von Knoten bleiben die Knotenattribute unverändert! Je nach Attribut ist beim Verschieben des Knotens eventuell eine neue Zuweisung von Attributen notwendig. So macht zum Beispiel das Verschieben eines Knotens um mehrere Meter eventuell eine neue Interpolation der Geländehöhe oder eines Vorflutpotentials an diesem Knoten notwendig.

- Knoten → zusammenlegen:

Oftmals ist erst nach dem Vernetzen von generierten Knoten an einzelnen Stellen ersichtlich, dass zwei Knoten, die sehr nahe beieinander liegen, zusammengelegt werden können. Außerdem kommt es vor, dass zwei Modelle mit gemeinsamem Rand zu einem Modell zusammengelegt werden sollen. In diesen Fällen führt dieser Menüpunkt automatisch die folgenden durchzuführenden Schritte aus:

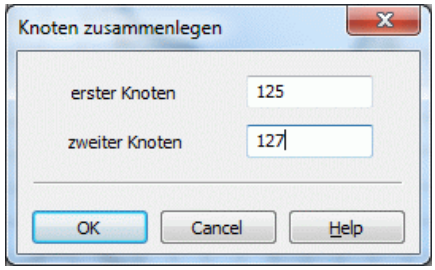
- Verschieben der Knotenkoordinaten auf einen geometrischen Mittelpunkt,
- Mittelwertbildung von Knotendaten, die bei beiden Knoten vorhanden sind (mit Ausnahme von Knotenentnahmen/Zuflussmengen),
- Löschen eines der Knoten und
- Korrektur der Inzidenzen der an die Knoten angrenzenden Elemente.

Dabei können die Knoten, die zusammengelegt werden sollen, über verschiedene Wege ausgewählt werden.

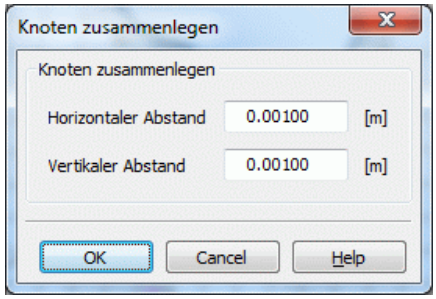


Zwei fangen: Zwei Knoten werden direkt mit der linken Maustaste ausgewählt.

Zwei nach Nummern...: Es erscheint ein Eingabefenster, in dem die beiden Knotennummern eingegeben werden:



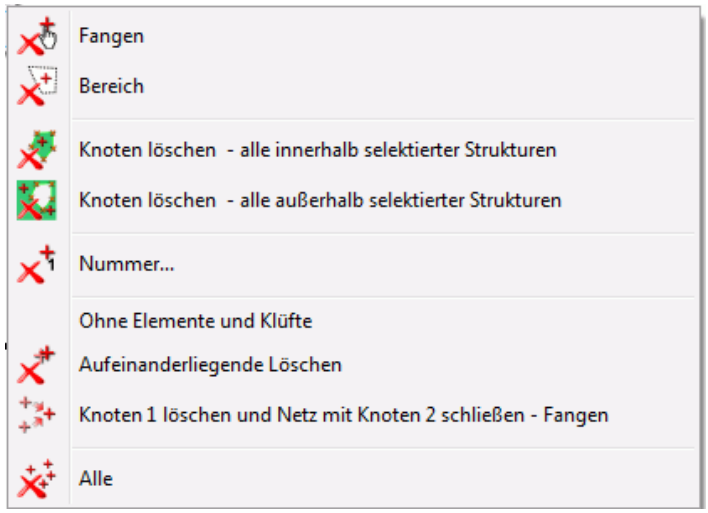
Nach Abstand...: Es erscheint ein Eingabefenster, in dem ein maximaler Abstand in x- und y-Richtung eingegeben wird:



Bei einem überhöhten Vertikalmodell kann es sinnvoll sein, in x-Richtung eine gröbere Genauigkeit festzulegen als in der vertikalen y-Richtung. Alle Knoten, deren Abstände zueinander kleiner sind, werden durch SPRING automatisch zusammengelegt und im Hauptfenster farbig markiert.

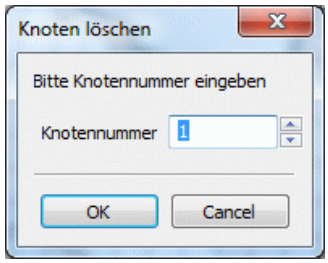
- Knoten → löschen:

Es erscheint folgendes Untermenü:



Die Knoten können einzeln (Fangen), innerhalb eines Polygons (Bereich), innerhalb oder außerhalb selektierter Strukturen oder durch Angabe einer Nummer gelöscht werden.

Beim Menüpunkt *Nummer…* erscheint ein Eingabefenster, in dem die Nummer des zu löschenden Knotens eingegeben wird:



Es ist ebenfalls möglich, Knoten zu löschen, die zu keinem Element oder Kluft gehören, oder deren Koordinaten einem anderen Knoten entsprechen (Aufeinanderliegende löschen).

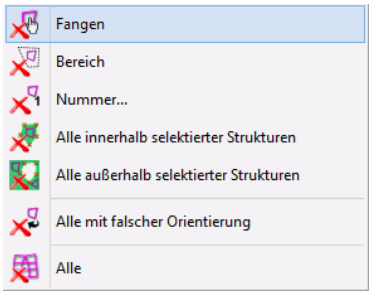
Achtung! Wird ein Knoten gelöscht, so werden auch alle an ihn angrenzenden Elemente automatisch mit gelöscht.

Der Menüpunkt "Knoten 1 löschen und Netz mit Knoten 2 schließen - fangen" ermöglicht dem Anwender, einen Knoten (Knoten 1, selektieren mit der linken Maustaste) zu löschen, indem Knoten 1 auf einen anderen Knoten (Knoten 2) verschoben und mit diesem zusammengelegt wird. Bei diesem Vorgang werden keine

Elemente gelöscht. Knoten 2 kann mit der linken Maustaste selektiert werden, oder durch Drücken der rechten Maustaste wird automatisch der nächstliegende Knoten vom Programm ausgewählt. Die Element- und Knotenattribute bleiben erhalten.

Element

Im Menüpunkt *Netz → Element → löschen* sind verschiedene Möglichkeiten gegeben, ein oder mehrere Elemente zu löschen:



Die Elemente können einzeln, in einem Bereich oder anhand ihrer Nummer gelöscht werden.

Beim Untermenüpunkt *Element → löschen → Nummer…* erscheint ein Eingabefenster, in dem die Nummer des zu löschenden Elements eingegeben wird.

Beim Löschen von Elementen anhand selektierter Strukturen werden nur diejenigen Elemente gelöscht, deren Knoten und Elementmittelpunkt komplett innerhalb oder außerhalb der Struktur bzw. auf deren Rand liegen.

Zu dem Untermenüpunkt *Element → löschen → Alle mit falscher Orientierung* ist folgendes anzumerken:

In SPRING erfolgt die Elementgenerierung grundsätzlich **gegen** den Uhrzeigersinn. Hat der Anwender durch manuelles Editieren der Modelldatei Elemente mit falscher Orientierung erzeugt, kann er diese hier automatisch löschen.

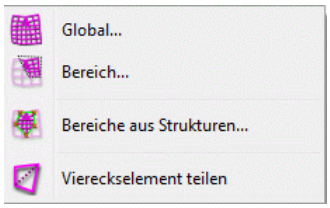
Mit dem Menüpunkt *Alle* werden alle Elemente gelöscht!

Netzgenerierung

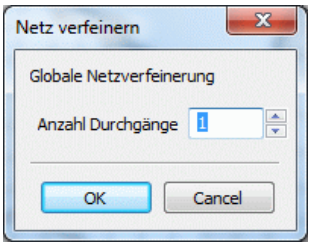
Da dieser Menüunterpunkt sehr komplex ist, wird er in einem gesonderten Unterkapitel behandelt.

Verfeinern

Es erscheint folgendes Untermenü:



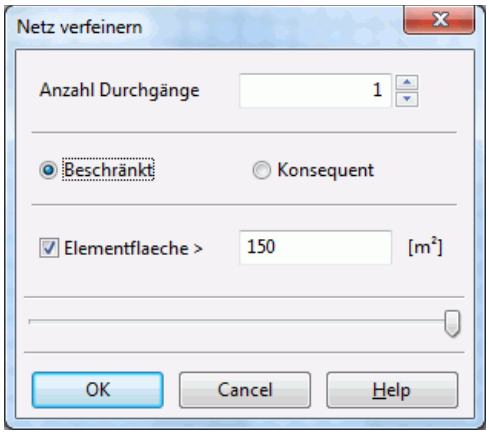
- Bei Wahl des Menüpunktes *Global…*, erscheint eine Abfrage, wie viel Verfeinerungsschritte durchgeführt werden sollen.

  Pro Durchgang wird jedes Element in 4 neue Elemente unterteilt und jede Seite halbiert. Ein Verfeinerungsschritt bewirkt also die Halbierung der Maschenweite im Verfeinerungsbereich, zwei Durchgänge vierteln die Maschenweite usw.

- Wird *Bereich* oder *Bereiche aus Strukturen* gewählt, werden nur die Elemente in den entsprechenden Bereichen verfeinert. Das Vorgehen entspricht weitgehend dem der globalen Verfeinerung. Beim Verfeinern eines Bereichs kann zusätzlich eine minimale Elementgröße vorgegeben werden. Im Bereich zwischen den verfeinerten und den nicht verfeinerten Elementen müssen anschließen ebenfalls neue Knoten generiert und Elemente geteilt werden, um einen Übergang zu schaffen. Dies führt dazu, dass auch au-

ßerhalb des gewählten Bereichs Elemente verfeinert werden. Für die Behandlung dieses Übergangs gibt es zwei verschiedene Strategien:



Beschränkte Verfeinerung:

Am Rand des Verfeinerungsbereichs können Elemente entstehen, deren Seitenverhältnis nicht ausgeglichen ist. Bei der beschränkten Verfeinerung werden schlechtere Seitenverhältnisse akzeptiert als bei der konsequenten Verfeinerung. Dadurch wird der Übergangsbereich zum nichtverfeinerten Netz weniger breit.

Konsequente Verfeinerung:

Wird eine Seite geteilt, die im angrenzen Element zu 'schlechten' Seitenverhältnissen führt, werden in diesem Element die an diese Seite anschließenden Seiten ebenfalls automatisch geteilt. Hierbei kann es geschehen, dass sehr kleine Seitenlängen auftreten. Außerdem kann es dazu führen, dass der Übergangsbereich zwischen den verfeinerten und nicht verfeinerten Elementen relativ 'breit' wird.

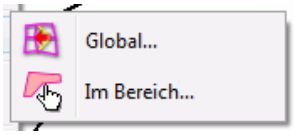
Bei Bereiche aus Strukturen muss nach Bestätigen des Eingabefensters mit OK eine Struktur mit einem links Mausklick ausgewählt werden. Hierzu muss die Struktur vorher eingeblendet sein.

- Viereckelement teilen

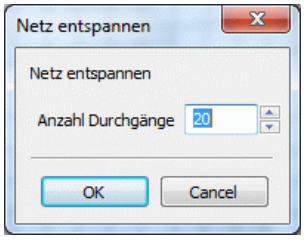
Durch diesen Menüpunkt ist es möglich, ein Viereck entlang einer seiner Diagonalen automatisch in zwei Dreiecke zu teilen. Die Eckknoten, deren Diagonale die neue Elementkante bilden soll, werden mit der linken Maustaste ausgewählt. Die Attribute des geteilten Elements bleiben in den neuen Elementen erhalten.

Entspannen

Die Entspannung des Netzes kann global oder bereichsweise erfolgen:



Nach der Vernetzung der generierten Knoten gibt es in der Regel auffällige Übergangsbereiche zwischen Knoten aus verschiedenen Generierungsalgorithmen, Rastern unterschiedlicher Parameter und per Hand generierter Bereiche. Über diesen Menüpunkt können diese Übergangsbereiche durch das automatische Verschieben von Knotenkoordinaten global oder bereichsweise (Auswahl des gewünschten Bereichs mit der linken Maustaste) geglättet werden. Hierzu muss eine Anzahl von Durchgängen für die Netzglättungen definiert werden:



Je größer die Anzahl der Durchgänge gewählt wird, desto weiter reicht der Einfluss der Verschiebung in Bereiche hinein, in denen Knotenraster generiert wurden. Außerdem führt eine Entspannung des Netzes zur

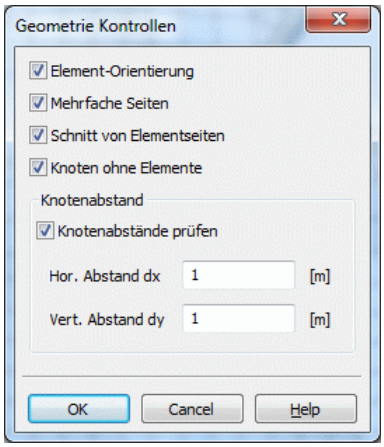
Verschiebung von Knoten, die anhand der Brunnenparameter im Nahbereich von Entnahmebrunnen logarithmisch generiert wurden.

Knoten und Elementkanten, die auf bzw. entlang von Konturen liegen, werden nicht verschoben.

Kontrollen…

Ist die Netzerstellung abgeschlossen, sollte vor der Datenzuweisung eine Kontrolle der Netzgeometrie durchgeführt werden. Fehler in der Netzgeometrie können sonst dazu führen, dass keine FE-Berechnung durchführbar ist.

Es stehen folgende Kontrollmöglichkeiten zur Auswahl:



Bei der Kontrolle der *Element-Orientierung* wird überprüft, ob die Knotenlisten der Elemente gegen den Uhrzeigersinn orientiert sind. Ist dies nicht der Fall, so kann dieser Fehler nur durch ein Löschen und neues Erzeugen der entsprechenden Elemente behoben werden.

Bei der Kontrolle auf *mehrfache Seiten* werden die Elementkanten überprüft. Elementkanten am Netzrand sind einmal vorhanden, Elementkanten im Modellinneren sind zweimal und dabei in unterschiedlicher Durchlaufrichtung vorhanden. Es können durch übereinander liegende Elemente oder falsche Elementorientierungen Fehler auftreten.

Bei der Kontrolle der *Schnitte von Elementseiten* werden alle Elementseiten daraufhin überprüft, ob sie sich mit anderen Elementseiten schneiden. (Diese Kontrolle kann bei großen Netzen eine gewisse Zeit dauern.)

Bei der Kontrolle auf *Knoten ohne Elemente* werden Knoten gesucht, an die keine Elemente angrenzen.

Die Kontrolle der *Knotenabstände* hilft, doppelte oder zu nahe beieinander liegende Knoten zu erkennen. Als Fehler werden Knoten angesehen, deren x-Koordinatenabstände kleiner als die Größe dx und deren y-Koordinatenabstände kleiner als die Größe dy sind.

3D

Da dieser Menüunterpunkt sehr komplex ist, wird er in einem gesonderten Unterkapitel behandelt.

4.6.1 Netzgenerierung

In diesem Kapitel werden zunächst alle Menüpunkte und Bearbeitungsschritte kurz beschrieben. Anschließend werden die Algorithmen der Knotenerzeugung ausführlich beschrieben. Folgende Menü-Punkte stehen zur Verfügung:

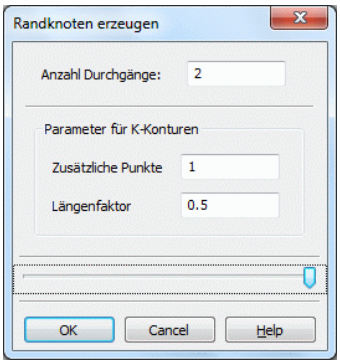
Knoten einfügen

Mit der linken Maustaste können an beliebigen Stellen Netzknoten erzeugt werden.

Randknoten generieren

Die Beschreibung des Algorithmus erfolgt im Kapitel: “Algorithmus des Randknotengenerators“.

Die Erzeugung von Knoten an den Konturpunkten und normal zu den Konturstrecken ist der erste Schritt bei der Knotengenerierung. Sie setzt voraus, dass ein geschlossener Konturrand existiert! Daher wird bei der Aktivierung des Menüpunktes *Randknoten generieren – Global* oder *Randknoten generieren - Bereich* zuerst eine Berechnung des Konturrandes durchgeführt. Ist die Berechnung dieses Konturrandes erfolgreich, so erscheint das folgende Untermenü zur Festlegung der Anzahl der Durchgänge (n).



Die Zahl n legt die Anzahl der Durchgänge bzw. den Abstand fest, bis zu dem Randknoten normal zu den Konturen generiert werden sollen.

Bei einem Projekt ohne Kluft-Konturen (k-Konturen) erscheint nur die Abfrage nach der Anzahl der Durchgänge. Wird hier die Zahl 0 eingegeben, werden nur die Knoten auf den Konturpunkten erzeugt.

Der *Längenfaktor* bei k-Konturen wird in der Regel dazu verwendet, den Generierungsabstand für Kluft-Konturen zu verringern und über die Anzahl *zusätzlicher Punkte* kann die Diskretisierungsdichte normal zur Kluft gesteuert werden. Der Randknotenalgorithmus generiert die Knoten mit exponentiell wachsendem Abstand zur Kluft.

Im Bereich:

Ist die Berechnung des Konturrandes erfolgreich, muss der Bereich, in dem die Randknoten generiert werden sollen, definiert werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass alle bereits vorhandenen Netzknoten bei der Definition des Randpolygons für die Knotengenerierung erfasst werden.

Anmerkungen:

Es wird empfohlen, den Randknotengenerator mindestens mit dem 0.Initialisierungsschritt aufzurufen, da bei der Netzgenerierung Probleme auftreten, wenn an Konturknoten keine Netzknoten liegen. Im Übrigen werden je nach Modelltyp 1 bis 2 Randknotengenerierungsschritte empfohlen.

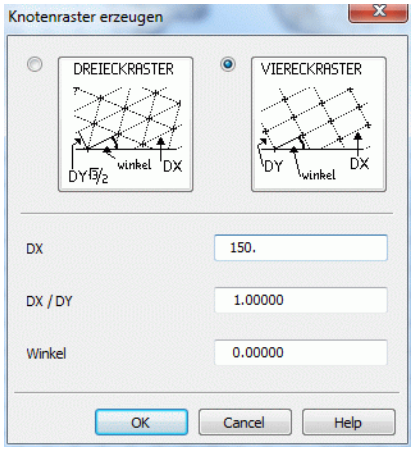
Soll bereichsweise eine größere Anzahl an Generierungsschritten durchgeführt werden, empfiehlt sich folgende Vorgehensweise:

Zuerst wird der Randknotengenerator mit der kleineren, global sinnvollen Anzahl an Generierungsschritten durchgeführt. In einem zweiten Schritt werden alle Knoten in dem Bereich, in dem mehr Generierungsschritte durchgeführt werden sollen, gelöscht. Danach wird der Randknotengenerator erneut mit der größeren Anzahl Generierungsschritte durchgeführt. In diesem Fall werden aus Konturpunkten, die außerhalb des gelöschten Bereiches liegen keine neuen Netzknoten generiert, da schon der 0.te Schritt des Randknotengenerators wegen des Abbruchkriteriums "Netzknoten in der Nähe schon vorhanden" scheitert und damit keine weiteren Generierungsschritte von diesen Punkten aus durchgeführt werden.

Raster generieren

Die Beschreibung des Algorithmus erfolgt im Kapitel: Algorithmus des Rasterknotengenerators.

Die Erzeugung eines Knotenrasters (Global.../Bereich) setzt voraus, dass ein geschlossener Konturrand existiert, daher wird auch hier zuerst eine Berechnung des Konturrandes durchgeführt. Soll das Raster in einem Bereich generiert werden, ist zunächst der Bereich zu definieren. Bei der Definition des Polygons für den Generierungsrand ist darauf zu achten, dass alle vorhandenen Knoten erfasst werden.



Die Knoten werden so generiert, dass sie zu möglichst gleichseitigen Dreiecken bzw. Rechtecken vernetzt werden.

Die Voreinstellung des Rastertyps ist ein Rechteckraster, ein Dreiecksraster hat aufgrund der höheren Elementanzahl nur einen höheren Speicher- und Rechenaufwand zur Folge.

Die Voreinstellung für die Größe DX ergibt sich beim globalen Rasterknotengenerator aus der mittleren Länge der Konturstrecken des äußeren Konturrandes (ohne Berücksichtigung von Teilungspunkten) skaliert mit 0,3.

Die Voreinstellung für das Verhältnis DX/DY ergibt sich aus dem Verhältnis der für das Projekt eingestellten Maßstäbe in x- und y-Richtung: Bei 2D-Horizontalmodellen und 3D-Modellen sind in der Regel die Maßstäbe für die x- und y-Richtung identisch. Das voreingestellte Verhältnis DX/DY=1 führt dann zu den im Allgemeinen gewünschten regelmäßigen Rastern. Bei Vertikalmodellen wird oftmals die y-Richtung im Verhältnis zur x-Richtung überhöht dargestellt. Der aus diesen Maßstabseinstellungen voreingestellte Wert DX/DY>1 führt dann zu den gewünschten Rechteckrastern mit großer Kantenlänge horizontal und kleiner Kantenlänge vertikal.

Durch Eingabe eines Winkels können die Elementkanten gegenüber der Horizontalen gedreht werden.

Der Ursprung des Knotenrasters wird bei der Generierung auf die minimalen x- und y-Koordinaten des Konturrandes gelegt.

Die Anwendung dieses Menüs ist im Kapitel „Schritt 2, Knoten erzeugen“ auf Seite **196** detailliert erläutert.

Elemente erzeugen

Die Elemente eines FE-Netzes können mit SPRING auf unterschiedliche Weise erstellt werden. Es können Modelle nur mit Dreieckselementen oder Modelle mit Drei- und Viereckelementen erstellt werden.

Der Menüpunkt *Elemente erzeugen* hat daher folgendes Untermenü:

- Erzeugen von *Dreiecken, Drei- und Vierecken* (global/Bereich/aus innerem Rand):

Nach Kontrolle des geschlossenen Konturrandes und eventueller Definition des Bereichs/inneren Randes wird die Triangulierung gestartet:

- Alle bestehenden Elemente, die vollständig innerhalb des definierten Bereiches liegen werden (samt Daten!) gelöscht.
- Die Knoten innerhalb des Gebietes werden unter Berücksichtigung aller Konturen, die vollständig im Polygon liegen, mit Dreiecken vernetzt.
- Bei der Auswahl der Generierung von *Drei- und Vierecken* werden nach der Vernetzung mit Dreiecken geeignete Dreiecke im Gebiet zu Vierecken zusammengefasst.
- Der Menüpunkt *Drei- und Vierecke bzw. Dreiecke (Bereich)* ist auch für die manuelle Erzeugung von Elementen zu nutzen.

Bei der Definition des Polygonzuges für eine bereichsweise Triangulierung ist darauf zu achten, dass die einzelnen Teilstrecken des Grenz-Polygons vom Netzgenerator als spätere Elementkanten verwendet werden (alle Knoten erfassen bei der Polygondefinition).

Je größer die Anzahl der Knoten ist und je mehr Konturstrecken zu berücksichtigen sind, desto länger kann die Triangulierung der Elemente dauern.

- Viereckgenerator:

Über diesen Menüpunkt können nachträglich in einem Dreiecksnetz geeignete Dreiecke zu Vierecken zusammengefasst werden. Dabei ist allerdings zu beachten, dass beim Zusammenfassen von zwei Dreiecken zu einem Viereck die Daten eines der beiden Dreiecke verloren gehen!

Netzgenerator Triangle…

Die Benutzung des Triangle-Netzgenerators ist ausführlich im Kapitel „Aufbau eines 2D-Modells: Nutzung des externen Netzgenerators Triangle“ auf Seite **197** beschrieben.

Regelmäßiges Netz…

Die Erzeugung eines regelmäßigen Netzes ist ausführlich im Kapitel „Aufbau eines 2D-Modells: Erstellung eines FE-Netzes durch automatische Netzgenerierung“ auf Seite **189** beschrieben.

4.6.1.1 Algorithmus des Randknotengenerators

Innerhalb des durch den geschlossenen Konturrand definierten Polygons werden Knoten nach folgendem Prinzip generiert:

0.ter Schritt:

Im 0.ten Schritt wird in allen Konturpunkten und an allen Anfangs-, End- und Teilungspunkten von Konturstrecken ein Netzknoten generiert (sofern nicht schon einer mit diesen Koordinaten existiert).

Bei weiteren Schritten werden bei Streckenkonturen Punkte wie folgt generiert:

- An Teilungspunkten von Konturstrecken werden Punkte normal zur Streckenkontur generiert.
- An Anfangs- und Endpunkten von l-Konturen ohne weitere angrenzende Konturstrecken werden im Winkel von 90, 150, 210 und 270 Grad zur Konturstrecke weitere Punkte generiert.
- An Anfangs- und Endpunkten von Streckenkonturen, an denen weitere Konturstrecken angrenzen, werden je nach ein- bzw. ausgeschlossenen Winkeln weitere Punkte generiert. Zum Beispiel werden bei eingeschlossenen Winkeln zwischen 90 und 180 Grad entlang der Winkelhalbierenden Punkte generiert und bei Winkeln größer als 270 Grad jeweils normal zu beiden Konturstrecken Punkte generiert.

Der Abstand in diese Richtungen generierter Punkte vom Konturstreckenpunkt wird dabei aus dem (evt. mittleren) Abstand des Konturpunktes zu seinen angrenzenden Konturstreckenpunkten (dist) bestimmt:

Bei "normalen" Konturstrecken (l-Konturen) werden bei n Generierungsschritten des Randknotengenerators n Punkte im Abstand dist, 2*dist, 3*dist bis n*dist erzeugt (s. Abbildung).

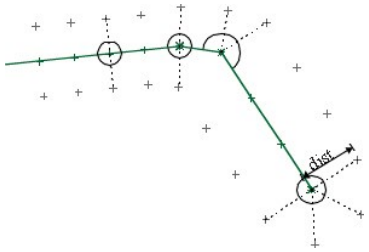


Abb. 63: Randknotengenerator bei l-Konturen (n =1)

Bei Kluft-Konturen (k-Konturen) wird bei n Generierungsschritten des Randknotengenerators ein Punkt im maximalen Abstand n*fakt*dist zum Konturpunkt erzeugt. Dabei ist die Skalierungsgröße "fakt" (*Längenfaktor*) vom Benutzer eingebbar. Zwischen diesem Punkt und dem Konturpunkt wird eine vorgebbare Anzahl *zusätzlicher Knoten* mit exponentiell wachsendem Abstand zur Kluftkontur generiert (s. Abbildung).

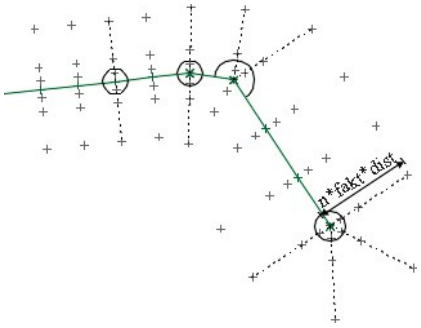


Abb. 64: Randknotengenerator bei Kluft-Konturen (2 zusätzlichen Knoten und Faktor 0,8; n=2)

Bei weiteren Schritten werden bei Punkt-Konturen mit Brunnenparametern (R_i, R_a und C>0) Punkte im Winkel 45, 90, 135, 180, 225, 270 und 315 Grad mit einem Abstand $R_n = R_i * C^n$ zum Konturpunkt generiert.

Knoten werden ausgehend von einem Konturpunkt, Anfangs- End- oder Teilungspunkt solange generiert, bis eines der folgenden Abbruchkriterien erfüllt ist:

Der Abstand erreicht die vorgegebene Schranke

- n*dist bei normalen Streckenkonturen (l-Konturen),
- n*fakt*dist bei Kluftkonturen (k-Konturen) und
- den maximalen Außenradius R_a bei p-Konturen mit Brunnenparametern, oder
- in der Nähe des zu erzeugenden Punktes gibt es schon einen Netzknoten, oder
- der Abstand des zu erzeugenden Punktes zu einer weiteren Basiskonturstrecke ist „zu klein“, oder
- die Generierungsrichtung führt aus dem äußeren Konturrand hinaus; in diesem Fall werden in diese Richtung gar keine Punkte generiert.

4.6.1.2 Algorithmus des Rasterknotengenerators

Voraussetzung für den Rasterknotengenerator ist die Abgrenzung durch ein Polygon, innerhalb dessen das Knotenraster generiert werden soll. Wird der Rasterknotengenerator global eingesetzt, ist dies der geschlossene Konturrand. Bei der Erzeugung von Rasterknoten in einem lokalen Bereich muss das Umrandungspolygon vom Benutzer definiert werden.

Innerhalb des definierten Polygons werden vor Erzeugung des Knotenrasters zuerst alle Konturen abgearbeitet (soweit dies nicht schon während der Randknotengenerierung geschehen ist) und die dort notwendigen Netzknoten erzeugt: auf den Punkt-Konturen, nach eventuell definierten Brunnenparametern und an Anfangs-, End- und Teilungspunkten der Konturstrecken.

Danach werden je nach Rastertyp (Dreiecksraster oder Viereckraster), Abstandsparameter DX und DY und Winkel die Rasterknoten generiert. Dabei werden in der Nähe schon vorhandener Netzknoten keine neuen Rasterknoten generiert (s. Abb. 64).

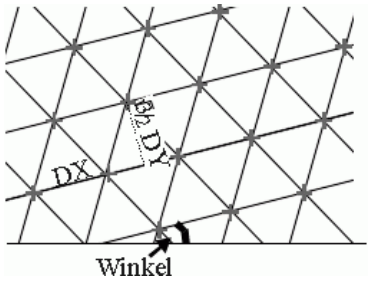


Abb. 65: Dreiecksnetz basierend auf einem Dreiecksraster

Beim Dreiecksraster werden Knoten so generiert, dass im Fall DX=DY die Knoten zu gleichseitigen Dreiecken mit Kantenlänge DX vernetzt werden können, die im angegebenen Winkel zur x-Achse verdreht sind. Im verzerrten Fall (DX ungleich DY) werden die Knoten so generiert, dass gleichschenklige Dreiecke mit Basisseitenlänge DX und Höhe DY*sqrt(3)/2 generiert werden, die den vorgegebenen Winkel mit der x-Achse einschließen (s. Abb. 65).

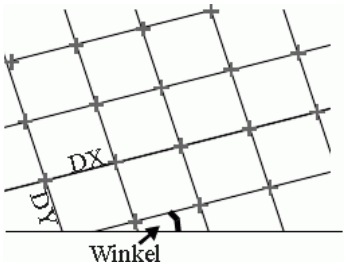


Abb. 66: Viereckknetz basierend auf einem Viereckraster

Beim Viereckraster werden die Knoten so generiert, dass sie zu Rechtecken mit den Kantenlängen DX und DY vernetzt werden können, die den angegebenen Winkel mit der x-Achse einschließen.

4.6.1.3 Triangulierung in SPRING

Ist die Knotengenerierung ganz oder bereichsweise abgeschlossen, können die Knoten zu Dreiecken vernetzt werden (Triangulierungsalgorithmus nach advancing front Technik).

Wird der globale Netzgenerator verwendet, werden ausgehend vom äußeren Konturrand Dreiecke (nach möglichst optimalen Winkelkriterien) erzeugt, bis alle Knoten im Inneren des Konturrandes vernetzt sind.

Bei der lokalen Generierung von Elementen ist es möglich, statt des äußeren Konturrandes (der hierfür nicht vorhanden sein muss) den äußeren Generierungsrand durch Erfassen von Knoten direkt vorzugeben. Ausgehend von diesem Rand werden dann Dreiecke (nach möglichst optimalen Winkelkriterien) erzeugt, bis alle Knoten im Inneren des so definierten Polygons vernetzt sind.

Der Triangulierungsalgorithmus berücksichtigt bei der Vernetzung automatisch die definierten Konturstrecken innerhalb des Generierungspolygons: Die Elementkanten dürfen bestehende Konturstrecken nicht schneiden.

Voraussetzungen für die Verwendung der Triangulierungsalgorithmen:

- Alle Konturpunkte, Anfangs-, End- und Teilungspunkte von Konturstrecken müssen Netzknoten sein.
- Netzknoten dürfen nicht auf Konturstrecken liegen, wenn sie nicht Teilungspunkte der Konturstrecken sind.
- Konturen sind optimiert.
- Es existieren keine doppelten Knoten (zwei oder mehrere Knoten mit denselben Koordinaten).

Wird vor der Erzeugung der Netzknoten die Konturerzeugung durch eine Optimierung abgeschlossen, liefern die von SPRING zur Verfügung gestellten Rand- und Rasterknotenalgorithmen Knotenpunkte, die den Voraussetzungen genügen. Fehler beim Triangulierungsalgorithmus entstehen z.B. durch:

- per Hand gepickte Knoten (doppelte Knoten, Knoten auf Konturen, die nicht Konturpunkte sind ...),
- nachträglich eingefügte Konturen (Konturpunkte ohne Knoten, nicht optimierte Konturen, ...)
- das Verschieben von Knoten (doppelte Knoten, Konturpunkte ohne Knoten).

Diese Fehler können durch folgende Operationen erkannt bzw. zum Teil behoben werden:

- Kontur optimieren
- Randknotengenerator mit 0 Schritten (Knoten auf Konturpunkten werden erzeugt)
- Kontrolle der Knotenabstände (*Netz → Kontrollen*)

Werden bei der Erzeugung von Elementen Drei- und Vierecke zugelassen, werden vom Triangulierungsalgorithmus immer zuerst Dreiecke erzeugt. Anschließend werden geeignete aneinandergrenzende Dreiecke zu Vierecken zusammengefasst, um die Anzahl der Elemente und damit den später benötigten Rechen- und Speicheraufwand zu reduzieren.

4.6.1.4 Netzglättung

Die mit Hilfe des Triangulators und des Viereckgenerators erstellten Netze können aufgrund der lokalen Strategie der Punkterzeugung Unzulänglichkeiten im Kontaktbereich der erzeugten Punktebereiche enthalten. Manche Probleme wie spitze Winkel und schlechte Seitenverhältnisse werden häufig erst nach der Elementerzeugung sichtbar. Zum Ausgleich dieser Mängel kann das Netz nachträglich geglättet werden (*Netz → Entspannen*).

Bei der Durchführung eines Glättungsschrittes werden für jeden Knoten aus dem Schwerpunkt der n angrenzenden Nachbarknoten neue Koordinaten berechnet:

$$x = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} x_k \quad \text{und} \quad y = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} y_k$$

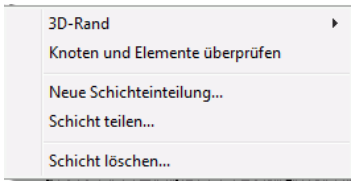
Ein Knoten wird auf die so berechneten neuen Koordinaten verschoben, sofern die dadurch veränderten Elemente auch weiterhin den geometrischen Anforderungen im FE-Netz genügen. Dabei werden

- Knoten auf Konturen,
- Knoten auf dem Netz- oder 3D-Rand und
- Knoten mit Markierungen (Modelldatenart MARK)

nicht verschoben.

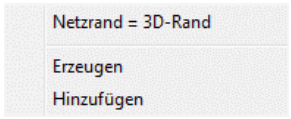
4.6.2 3D

Mit dem Menü 3D werden Einstellungen für ein 3D-Modell vorgenommen. Folgende Menü-Punkte stehen zur Verfügung:



Rand

Bei 3D-Modellen ist ein 3D-Rand festzulegen. Hierfür stehen unterschiedliche Möglichkeiten bereit. Im Untermenü erscheint daher die folgende Auswahl:



- Netzrand = 3D-Rand

Bei Auswahl dieses Menü-Punktes wird der Netzrand automatisch zum 3D-Rand, so dass ein vollständiges 3D-Modell erstellt werden kann.

- Erzeugen

Durch Auswahl dieses Menü-Punktes kann ein 3D-Rand innerhalb eines bestehenden Modells erzeugt werden. Ein bereits vorhandener 3D-Rand wird hierdurch gelöscht! Es ist darauf zu achten, dass der 3D-Rand gegen den Uhrzeigersinn und entlang von Elementkanten definiert wird! Hiermit kann ein gekoppeltes 2D/3D-Modell aufgebaut werden.

- Hinzufügen

Durch Auswahl dieses Menü-Punktes kann neben einem bereits vorhandenen ein zusätzlicher 3D-Rand innerhalb eines Modells erzeugt werden. Es ist darauf zu achten, dass der 3D-Rand gegen den Uhrzeigersinn und entlang von Elementkanten definiert wird! Hiermit kann ein gekoppeltes 2D/3D-Modell mit mehreren 3D-Bereichen aufgebaut werden.

Knoten und Elemente überprüfen

SPRING überprüft den 3D-Rand (Attribut 3DRA) beim Einlesen des Modells nicht, führt daher auch keine Kontrolle durch, ob das Modell ein vollständiges 3D-Modell ist oder nur ein 2D-Modell mit einem 3D-Teilgebiet. Daher ist es immer möglich (aber nicht immer sinnvoll), auch für Knoten und Elemente im 2D-Bereich eines 2D/3D-Modells Attribute für die tieferen Schichten zu definieren! Bei Aktivierung des Menü-Punktes *Knoten und Elemente überprüfen* wird mit der aktuellen Netzgeometrie und dem aktuellen 3D-Rand für alle Knoten und Elemente überprüft, ob sie innerhalb oder auf dem 3D-Rand oder außerhalb des 3D-

Randes liegen. Bei Elementen wird zusätzlich geprüft, ob sie vollständig innerhalb des 3D-Randes liegen oder den 3D-Rand schneiden.

Sollten alle Elemente und Knoten innerhalb bzw. auf dem 3D-Rand liegen, wird in der Statusleiste angezeigt, dass es sich um ein vollständiges 3D-Modell handelt!

Sollten ein Teil der Knoten und Elemente außerhalb liegen, zeigt die Statusleiste: 2D/3D-Modell.

Sollten Elemente den 3D-Rand schneiden, wird in der Statusleiste ein Fehler gemeldet. In diesem Fall wird empfohlen, den 3D-Rand grafisch darzustellen (*Ansicht → 3D-Rand*) und mit der Elementgeometrie zu kontrollieren!

Neue Schichteinteilung

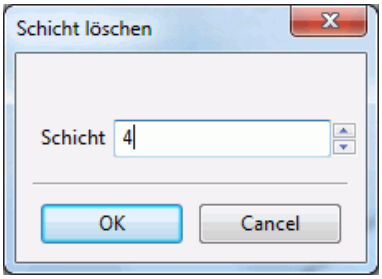
Im Kapitel: „Aufbau eines 3D-Modells - Aufbau eines vollständigen 3D-Modells“ auf Seite **215** werden dieser Menü-Punkt und das zugehörige Eingabefenster detailliert erläutert.

Schicht teilen...

Im Kapitel: „Aufbau eines 3D-Modells – Einbau von auslaufenden Schichten“ auf Seite **218** wird dieser Menü-Punkt und das zugehörige Eingabefenster detailliert erläutert.

Schicht löschen...

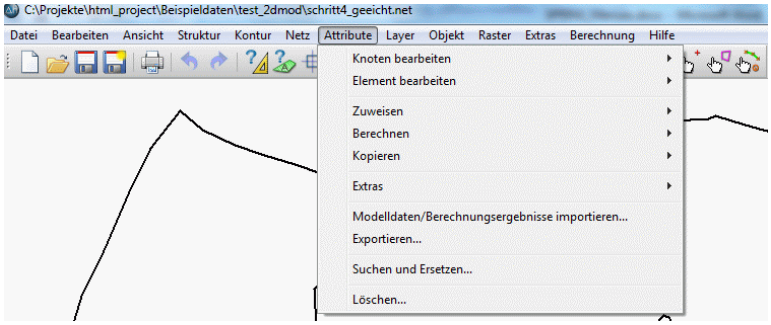
Im folgenden Dialog wird die zu löschende Schichtnummer eingegeben:



Es werden alle Daten der Schicht 4 sowie die zugehörigen Z-Koordinaten ZKOR 4 gelöscht.

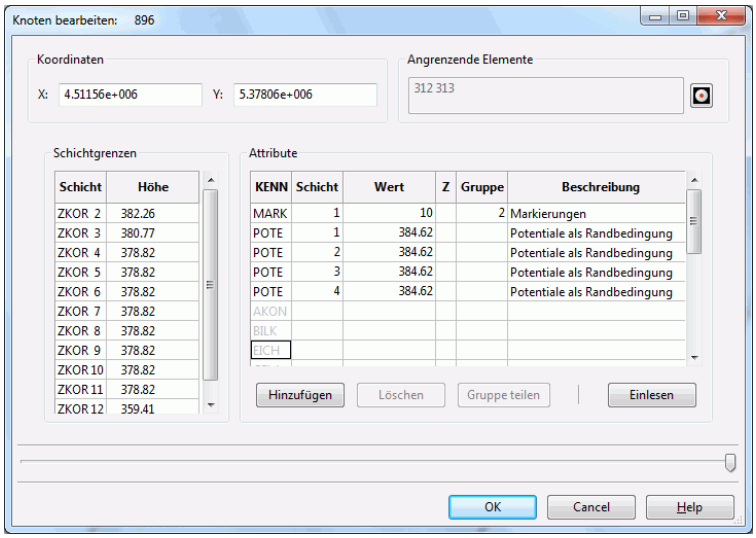
4.7 Attribute

Das Attribute-Menü ist nur im Modus Modelldatei wählbar. Folgende Menü-Punkte stehen zur Verfügung:



Knoten bearbeiten

Nach *Fangen,* N*ummer* oder durch Auswahl des Buttons in der Symbolleiste erscheint folgendes Eingabefenster,



in dem die Attribute des Knotens bearbeitet werden können:

- Koordinaten:

Hier können die x- und y-Koordinaten des Knotens direkt verändert werden. Allerdings ist darauf zu achten, dass durch die Veränderung der Koordinaten der Knoten nicht in andere Elemente hinein verschoben wird. Beim Verschieben des Knotens durch Veränderung der Koordinaten bleiben die Knotenattribute unverändert.

- Angrenzende Elemente:

Hier werden die Elementnummern der an den Knoten angrenzenden Elemente angezeigt. Durch Aktivieren des Buttons wird die grafische Darstellung zu dem ausgewählten Knoten gezoomt.

- Schichtgrenzen:

Hier werden die geometrischen Daten angezeigt, z.B. die Geländeoberfläche als obere Schichtgrenze oder bei einem 3D-Modell die Lagehöhen der Z-Koordinaten.

- Attribute:

Hier können Attribute des Knotens hinzugefügt (linker Button), gelöscht (rechter Button) oder über manuelle Eingabe in die Zellen der Tabelle verändert werden (Wert, Gruppenzugehörigkeit oder Attributzeichen (Z)). Nach dem Öffnen des Modells sind die Knotenattribute noch nicht geladen. Erst durch Markieren des zu bearbeitenden Attributs und anschließendem Anklicken des Buttons "Einlesen" werden die zugehörigen Knotenwerte aus der Modelldatei eingelesen und können dann bearbeitet werden. Zunächst werden alle in der Modelldatei vorhandenen Knotenattribute angezeigt. Ist ein markiertes Attribut an diesem Knoten nicht vorhanden, verschwindet dieser Eintrag nach Anklicken des Buttons "Einlesen".

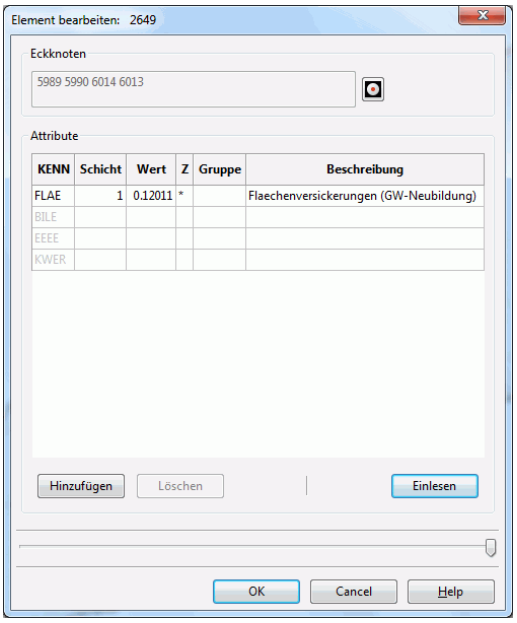
- Gruppe löschen:

Besitzt der Knoten ein Gruppenattribut wie LERA oder MARK, aktiviert sich nach Markieren des entsprechenden Attributs der Button "Gruppe teilen" und die Attribut-Gruppe wird am nachfolgenden Knoten aufgetrennt. Der nachfolgende Knoten ergibt sich aus der ursprünglichen Zuweisungsrichtung. Für die folgenden Knoten wird dann automatisch eine neue Gruppe angelegt.

Wird das Menü mit *OK* beendet, sind alle durchgeführten Modifikationen an den Knotendaten wirksam. Die Änderung kann jedoch mit *Undo* widerrufen werden.
Wird das Menü mit *Cancel* beendet, sind alle durchgeführten Änderungen hinfällig: Die Knotendaten bleiben in dem Zustand, in dem sie vor Aufruf des Menüs waren.

Element bearbeiten

Nach *Fangen,* N*ummer* oder durch Auswahl des Buttons in der Symbolleiste erscheint folgendes Eingabefenster:



in dem die Attribute des Elements bearbeitet werden können:

- Eckknoten:

Hier finden sich die Nummern der Eckknoten des Elements. Durch Aktivieren des Buttons wird die grafische Darstellung zu dem ausgewählten Element gezoomt.

- Attribute:

Hier können Attribute des Elements hinzugefügt (linker Button), gelöscht (rechter Button) oder durch manuelle Eingabe in die Zellen der Tabelle verändert werden (Wert, Gruppenzugehörigkeit oder Attributzeichen (Z)). Nach dem Öffnen des Modells sind die Elementattribute noch nicht geladen. Erst durch Markieren des zu bearbeitenden Attributs und anschließendem Anklicken des Buttons "Einlesen" werden die zugehörigen Elementwerte aus der Modelldatei eingelesen und können dann bearbeitet werden. Zunächst werden alle in der Modelldatei vorhandenen Elementattribute angezeigt. Ist ein markiertes Attribut an diesem Element nicht vorhanden, verschwindet dieser Eintrag nach Anklicken des Buttons "Einlesen".

Wird das Menü mit *OK* beendet, sind alle durchgeführten Modifikationen an den Elementdaten wirksam. Die Änderung kann jedoch mit *Undo* widerrufen werden.
Wird das Menü mit *Cancel* beendet, sind alle durchgeführten Änderungen hinfällig: Die Elementdaten bleiben in dem Zustand, in dem sie vor Aufruf des Menüs waren!

Zuweisen

Da dieser Menüunterpunkt sehr komplex ist, wird er in einem gesonderten Unterkapitel behandelt.

Berechnen

Da dieser Menüunterpunkt sehr komplex ist, wird er in einem gesonderten Unterkapitel behandelt.

Kopieren

Da dieser Menüunterpunkt sehr komplex ist, wird er in einem gesonderten Unterkapitel behandelt.

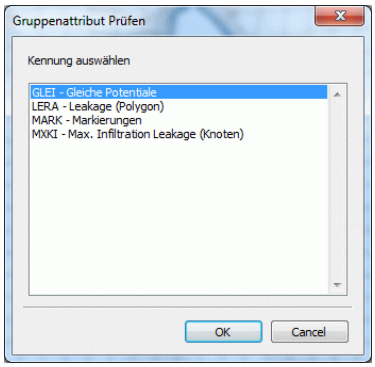
Extras

Es erscheint folgendes Untermenü:

- Gruppen- bzw. Polygonzugattribute prüfen

Mit Hilfe dieses Menüpunkts können vorhandene Attribute (einzeln oder alle) mit Gruppendaten oder Polygonzugdaten auf Überschneidung mit gleichartigen Attributen überprüft werden.

Eingabefenster *Einzelnes Attribut*:



Als Resultat werden die Gruppen- bzw. Polygonzugdaten mit Überschneidungen als grüne Linien dargestellt. Die Knoten, auf denen Attribute doppelt definiert sind, werden durch einen grünen Kreis hervorgehoben.

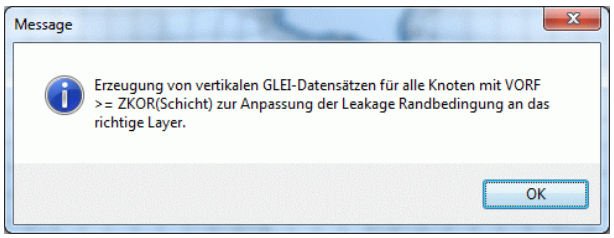
Mit dem Menüpunkt *Attribute → Knoten bearbeiten → Fangen* werden diese Knoten gefangen und in dem erscheinenden Dialog lassen sich die entsprechenden Gruppen zum Löschen auswählen.

- VORF an Schichtnr. anpassen

Dieser Menüpunkt ist nur auswählbar, wenn es sich um ein 3D-Modell handelt und das Attribut VORF (Vorflutwasserstand) belegt ist. Im Untermenü stehen zwei Auswahlmöglichkeiten zur Verfügung. Die Anpassung kann durch GLEIche Potentiale oder durch Verschieben erfolgen.

Durch GLEIche Potentiale:

Diese Vorgehensweise ist ideal für Vorflutdatensätze, die oberflächennahe Vorfluter beschreiben. Es erscheint folgende Abfrage:



Auch bei feiner vertikaler Diskretisierung eines 3D-Modells ist der genaue Geländeabfall an einem Vorfluter nicht ausreichend diskretisiert. Hier ist es in der Regel so, dass der Netzknoten auf dem Vorfluter in den obersten Schichten in der Luft, d.h. über dem Wasserspiegel hängt (siehe untere Abbildung). In diesen Fällen ist es sinnvoll, diese Knoten über die Höhe gleich zu setzen, damit die Leakagerandbedingung an der richtigen Stelle greift.

Hierzu ist es am einfachsten, das Attribut VORF und den entsprechenden Leakagekoeffizienten (LERA oder LEKN) auf die erste Schicht zuzuweisen. Durch Aktivieren der Funktion *Durch GLEIche Potentiale* wird dann ein vertikaler GLEI-Datensatz aus den untereinander liegenden Knoten erzeugt, für die das eingegebene Vorflutpotential (VORF) größer oder gleich der Z-Koordinate des Knotens ist.

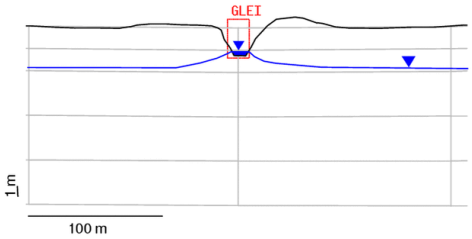
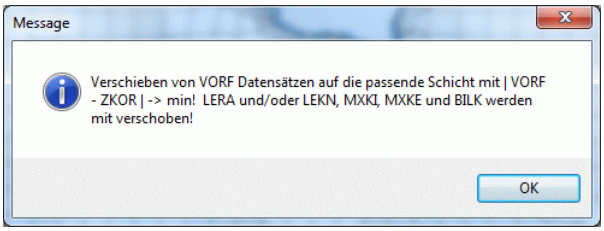


Abb. 67: GLEI-Knoten an einem Vorfluter (Vertikalschnitt)

Durch Verschieben:

Diese Vorgehensweise ist ideal für Vorflutdatensätze, die Leakage-Randbedingungen "im Innern" beschreiben (z.B. Kanäle). Es erscheint folgende Abfrage:



Bei dieser Vorgehensweise wird die Z-Koordinatenlage ermittelt, für die der Abstand zum VORF-Wert minimal wird. Durch Aktivieren der Funktion *Durch Verschieben* werden alle Datenarten eines VORF-Knotens, die mit Vorflut-Knotenrandbedingungen korrelieren (VORF, LERA, LEKN, MXKI, MXKE und BILK) auf die entsprechende geeignete Schicht verschoben (s. Abbildung)!

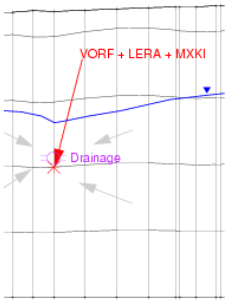
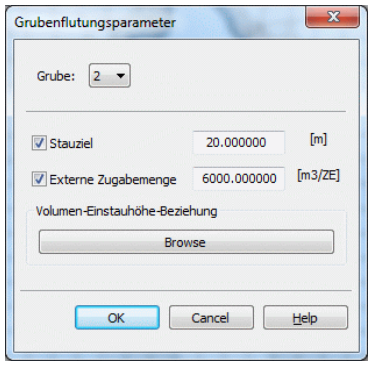


Abb. 68: Ermittlung der "richtigen" Lage von Leakage-Daten

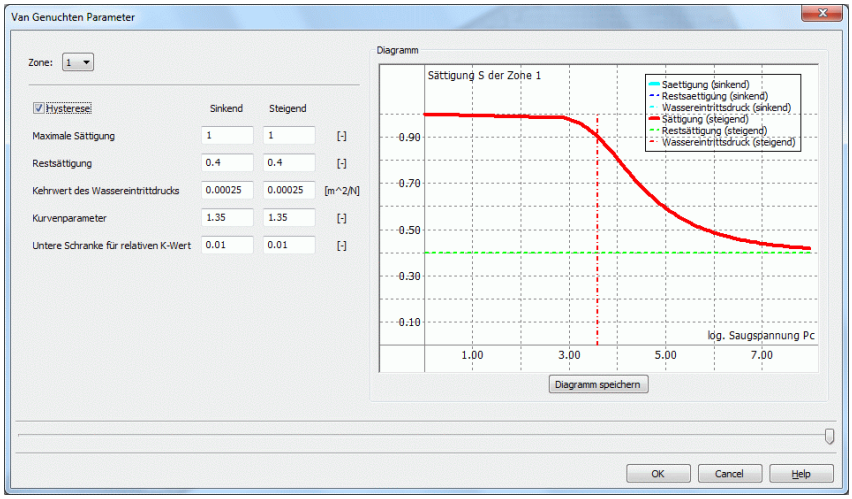
- Flutungsparameter…

Wenn das Attribut GRUB (Bilanzknoten für Grubenflutung) vergeben ist, lassen sich über das folgende Eingabefenster das Stauziel und die Zugabemenge für die einzelnen Gruben zuweisen. Eine ausführliche Beschreibung findet sich im "How To – "Flutungssimulation von Grubenbauwerken".



- Van-Genuchten-Parameter…

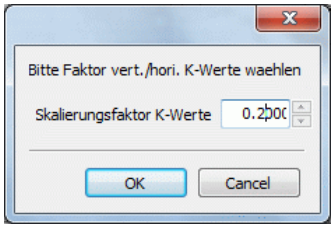
Wenn das Attribut USAT in der Modelldatei vorhanden ist, lassen sich über diesen Menüpunkt die Parameter der einzelnen Sättigungsbereiche definieren:



Dieser Menüpunkt einschließlich des Eingabefensters ist im Kapitel "Datenstruktur des Grundwassermodells – Sättigungsparameter, Hysterese“ ausführlich beschrieben.

- Faktor vertikaler/horizontaler K-Wert (KFVH) anpassen …

Nach Auswahl dieses Menüpunktes erscheint folgendes Eingabefenster:



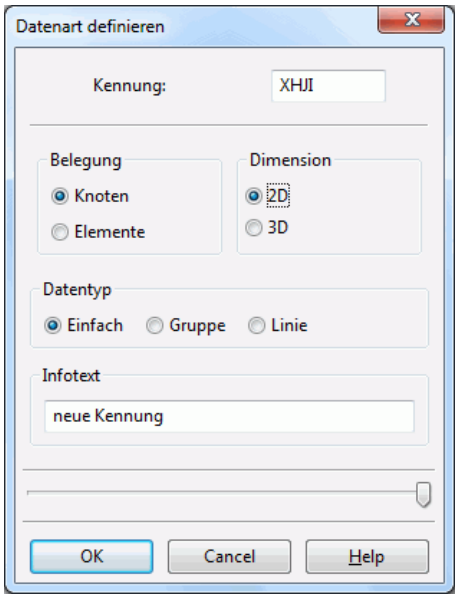
Hier kann ein globaler Skalierungsfaktor eingegeben werden für das Verhältnis zwischen vertikaler und horizontaler Durchlässigkeit bei 3D-Modellen. Der voreingestellte Wert liegt bei 1 zu 10.

- Anisotrope k-Werte …

Da dieser Menüunterpunkt sehr komplex ist, wird er in einem gesonderten Unterkapitel behandelt.

- Neue Datenart definieren

Nach Auswahl dieses Menüpunktes erscheint folgendes Eingabefenster:

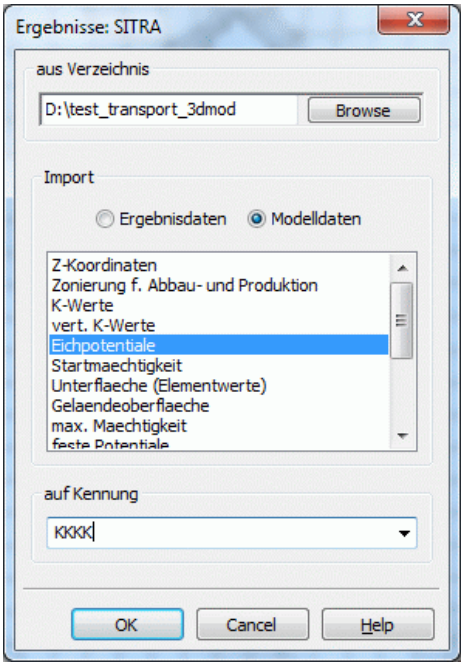


Hier können neue Datenarten definiert werden, die nicht in der Datei *xsusi.kenn* eingetragen sind. Erläuterungen hierzu finden sich im Anhang im Kapitel "Informationen in der Datei xsusi.kenn" (S. 461).

Modelldaten/Berechnungsergebnisse importieren…

Mithilfe dieses Menüpunktes lassen sich sowohl Modelldaten aus anderen Verzeichnissen als auch berechnete Daten aus den Hintergrunddateien in die Modelldatei einlesen.

Es erscheint folgendes Eingabefenster:



Es muss das Verzeichnis ausgewählt werden, in dem entweder der Rechenlauf, dessen Ergebnisse gelesen werden sollen, durchgeführt wurde, oder in dem die gewünschten Modelldaten stehen. (Es wird keine Kontrolle durchgeführt, ob die in den Hintergrunddateien gespeicherten Ergebnisse zum aktuellen Projekt passen!)

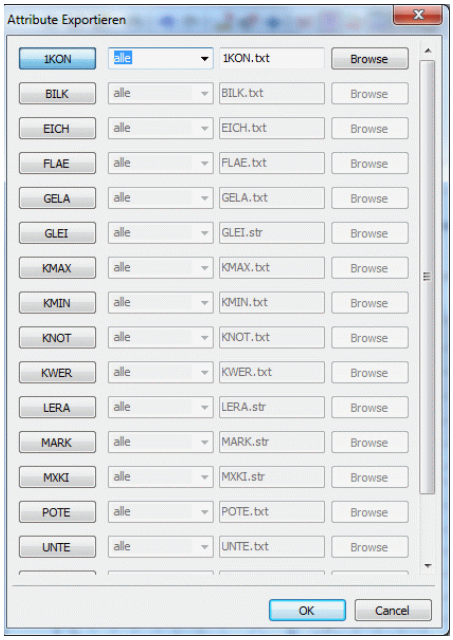
Werden Ergebnisdaten gefunden, erscheint eine Liste zur Auswahl der Daten, die übertragen werden sollen.

Der Datensatz wird unter der einzugebenden *Kennung* auf die Knoten bzw. Elemente (je nach Ergebnis) abgespeichert. Eine zulässige Kennung besteht aus einer Kombination von 4 Buchstaben oder Zahlen (Unterstrich ist ebenfalls erlaubt). Bei allen Ergebnisdaten mit Ausnahme der Geschwindigkeiten kann eine beliebige Kennung, also auch eine SPRING unbekannte Kennung eingegeben werden. Über den Typ der Datenart (Knoten oder Elemente) erkennt SPRING automatisch, ob die Kennung als Knoten- oder Elementdatenkennung gespeichert werden muss. Werden Geschwindigkeiten gewählt, werden diese automatisch auf den Elementdatenarten VV_X, VV_Y und evt. VV_Z gespeichert. In diesem Fall kann keine Kennung eingegeben werden.

Exportieren…

Mit Hilfe dieses Menüpunkts ist eine Datenausgabe in eine ASCII-Datei möglich. Die Daten werden im STR-Format (I6, F10, F10, F10) ausgegeben.

Es erscheint folgendes Eingabefenster:



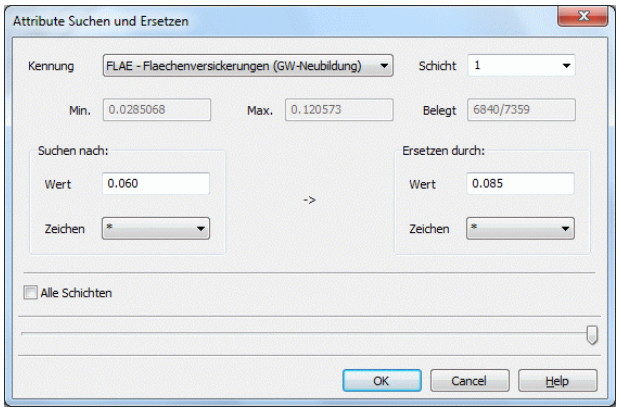
Durch Anklicken eines oder mehrerer Buttons werden die zu exportierenden Attribute ausgewählt. Anschließend können ggf. die gewünschten Schichten in einem 3D-Modell und der Name der Ausgabedatei festgelegt werden. Über den Button *Browse* kann ein anderes Verzeichnis ausgewählt werden, in dem die Daten gespeichert werden sollen.

Mit Klick auf den OK Button wird der Export gestartet.

Suchen und Ersetzen…

Mit Hilfe dieses Menüpunktes können Attributwerte oder Attributzeichen in einer oder in allen Schichten (im 3D-Modell) innerhalb der Modelldatei automatisch ersetzt werden. Ein eventuell vorhandenes Attributzeichen wird nicht automatisch mit ersetzt, sondern muss mit angegeben werden.

Es erscheint folgendes Eingabefenster:

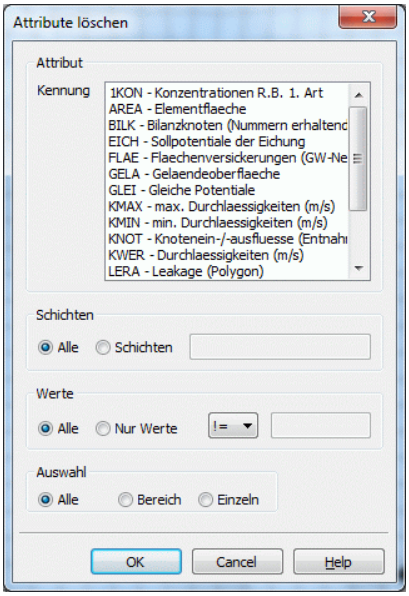


Zur Orientierung sind die minimalen, die maximalen und die Anzahl der belegten Werte angegeben.

Mit der Checkbox „Alle Schichten“ können gleichzeitig in allen Schichten Werte gesucht und ersetzt werden.

Löschen…

Mit diesem Menüpunkt können vorhandene Daten gelöscht werden. Dabei ist es möglich, einzelne Attribute oder mehrere Attribute gleichzeitig zu löschen:



Es können in einem 3D-Modell die Daten aller Schichten oder nur einer bestimmten Schicht gelöscht werden.

Es können alle Werte oder nur ein bestimmter Wert global oder nur in einem zu definierenden Polygon gelöscht werden. Die verschiedenen Optionen sind dabei beliebig kombinierbar (z.B. "nur die POTE in Schicht 3 in einem bestimmten Bereich" oder "nur LERA in einem bestimmten Bereich mit dem Wert 200.0" ...).

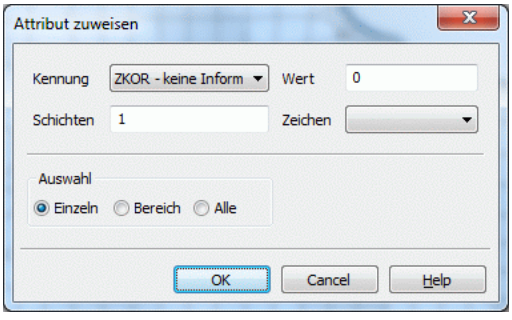
Es werden nur die Werte an Knoten/ Elementen gelöscht, die vollständig innerhalb des gewählten Polygons liegen.

4.7.1 Attribute zuweisen

Es erscheint folgendes Untermenü:

Direkt…

Mithilfe dieses Eingabefensters:



kann allen oder einzelnen Knoten oder Elementen in einer Schicht ein Attribut mit einem bestimmten Wert und Zeichen zugewiesen werden.

Aus Struktur

Nach Auswahl einer Struktur durch *Fangen, Liste…* oder *Alle…* erscheint das Eingabefenster mit den Zuweisungsparametern, welches schon im Kapitel: “Strukturen zuweisen“ detailliert erläutert wurde.

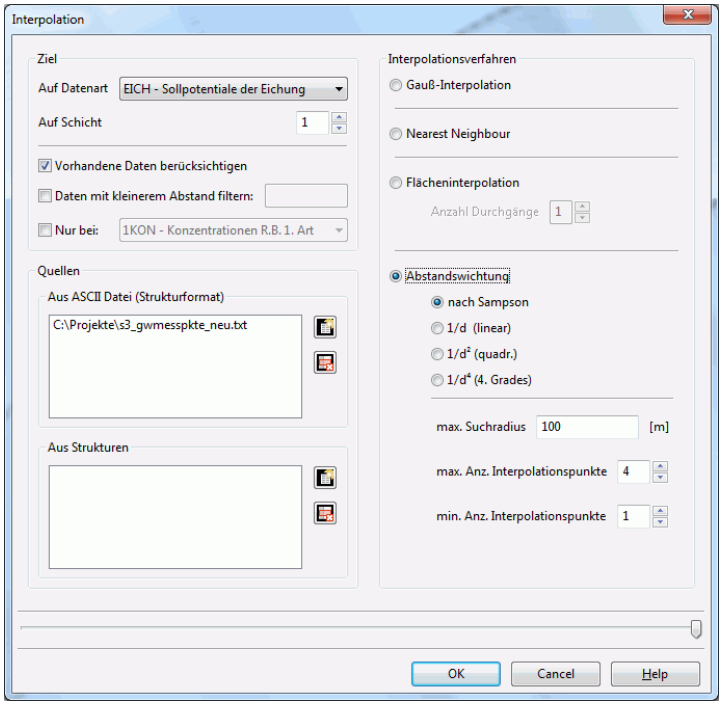
Durch Interpolation…

Einige Daten liegen als Rasterdaten vor (z.B. ein digitales Höhenmodell mit einem 5 m Raster). Die Geländehöhe muss auf jeden Knoten zugewiesen werden. Die Lage der Modellknoten entspricht jedoch nicht dem Raster des Höhenmodells, so dass die Daten der Geländehöhe auf die Knoten interpoliert werden müssen. Hierzu stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung.

Das Vorgehen bei der Eingabe wird im Kapitel "Aufbau eines 2D-Modells - Interpolation von fremden Datenformaten“ ausführlich beschrieben.

Die Theorie und die Eingabeparameter der unterschiedlichen Interpolationsalgorithmen werden im Kapitel Berechnungen – “Interpolation“ ausführlich beschrieben.

Es erscheint das folgende Eingabefenster:

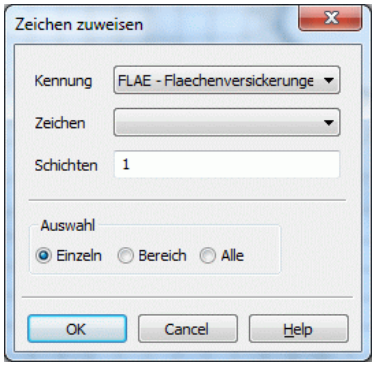


Eine Besonderheit ist die Methode *Nearest Neighbour*: Diese Interpolationsmethode ist ausschließlich im *Attribute-Menü* verfügbar.

Hierbei wird jedem Knoten der Wert des am nächsten liegenden Interpolationspunktes zugewiesen.

Zeichen setzen…

Bei Auswahl dieses Menü-Punktes erscheint folgendes Eingabefenster:



Hier können bei vorhandenen Attribut-Daten die Zeichen für die 15.te und 16.te Spalte der Modelldatendatei definiert oder geändert werden.

Bei der Kennung werden nur die Datenarten angezeigt, für die das Setzen eines Zeichens sinnvoll bzw. möglich ist.

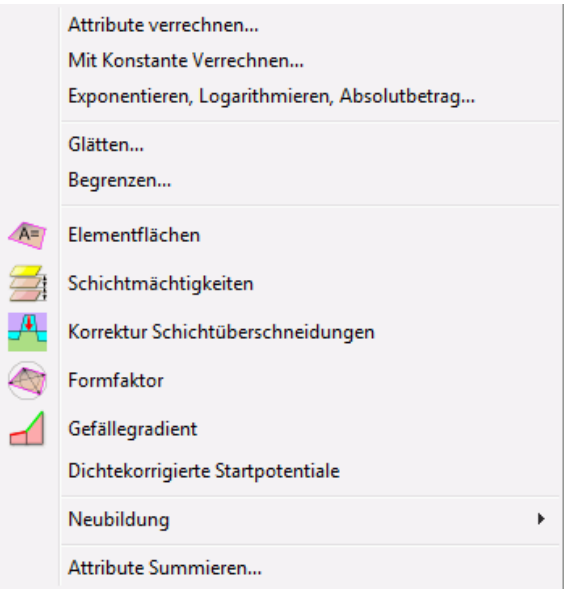
Das Zeichen kann mithilfe der Pfeiltaste ausgewählt werden (/, *, F). Es kann die Schicht festgelegt werden, und ob das Zeichen für einzelne Knoten oder Elemente, bereichsweise oder für alle Knoten oder Elemente gelten soll.

Stochastisch:

Mit Hilfe dieses Menü-Punktes kann allen oder einzelnen Knoten oder Elementen in einer Schicht ein Attribut mit einer bestimmten stochastischen Verteilung zugewiesen werden. Aufgrund der Komplexität wird dieser Menü-Punkt in einem gesonderten Unterkapitel behandelt.

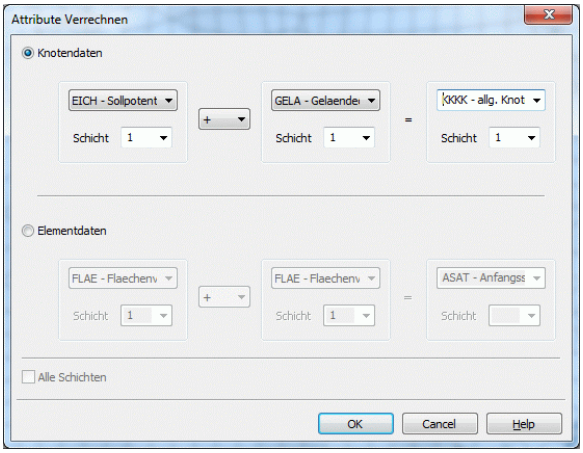
4.7.2 Attribute berechnen

Es erscheint folgendes Untermenü:



Attribute verrechnen…

Es erscheint folgendes Eingabefenster:



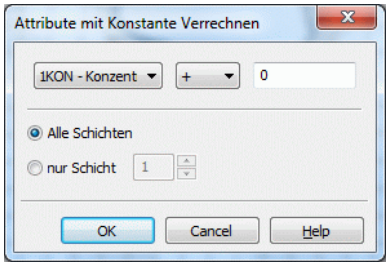
Mit diesem Menüpunkt lassen sich zwei Knoten- oder zwei Elementdatenarten zu einer dritten Knoten- bzw. Elementdatenart verrechnen.

Die Daten können bei einem 3D-Projekt nur in einer Schicht oder wahlweise in allen Schichten verrechnet werden.

Die Ergebniskennung kann eine beliebige (auch SPRING unbekannte) Kennung sein. Aus dem Kontext ergibt sich, ob SPRING diese Kennung als Knoten- oder Elementdatenart speichert.

Mit Konstanten verrechnen…

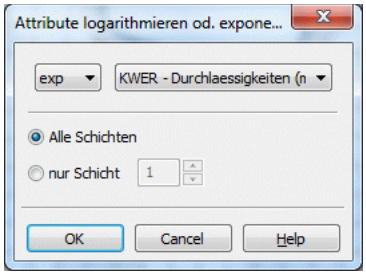
Es erscheint folgendes Eingabefenster:



Eine ausgewählte Knoten- bzw. Elementdatenart (bei einem 3D-Modell in allen oder nur einer Schicht) kann mit einer Konstante verrechnet werden. Als Rechenart stehen +, -, *, / und ^ zur Verfügung. Die gewählte Kennung wird mit der Konstanten verrechnet und durch das Berechnungsergebnis überschrieben. Es findet keine Abfrage statt, ob die Originalwerte auch wirklich durch die Berechnungsergebnisse überschrieben werden sollen oder nicht!

Exponenzieren, Logarithmieren, Absolutbetrag…

Bei einem 3D-Modell erscheint folgendes Eingabefenster:



Bei einem 2D-Modell entfällt die Eingabe einer Knoten- bzw. Elementschicht.

Mit diesem Menüpunkt können vorhandene Attribute mit den Funktionen

f(x) = exp(x),

$f(x) = 10^x$,

f(x) = ln(x) oder

f(x) = log(x)

f(x) = abs (x)

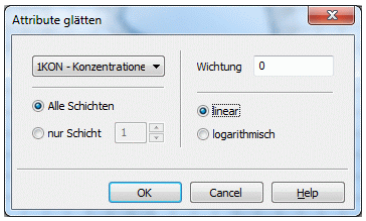
umgerechnet werden.

Bei einem 3D-Modell können die Werte aller Schichten oder nur die Werte einer einzelnen Schicht umgerechnet werden.

Für jeden Knoten bzw. jedes Element (in allen oder nur einer Schicht) mit einem Wert x für die gewählte Kennung wird der vorhandene Wert mit der gewählten Funktion umgerechnet und durch das Berechnungsergebnis f(x) überschrieben. Es findet keine Abfrage statt, ob die Originalwerte auch wirklich durch die Berechnungsergebnisse überschrieben werden sollen oder nicht!

Glätten…

Es erscheint folgendes Eingabefenster für ein 3D-Modell:



Mit diesem Menüpunkt lassen sich Knoten- und Elementdaten durch Mittelwertbildung glätten.

Der neue Wert an einem Knoten/Element errechnet sich hierbei aus dem alten Wert und dem Mittelwert der umliegenden Knoten/Elemente:

Lineare Glättung:

$$w^{neu} = \frac{1}{\omega + 1}\left[\omega * w^{alt} + \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} w_i\right]$$

Logarithmische Glättung:

$$\ln(w^{neu}) = \frac{1}{\omega + 1}\left[\omega * \ln(w^{alt}) + \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \ln(w_i)\right]$$

mit:

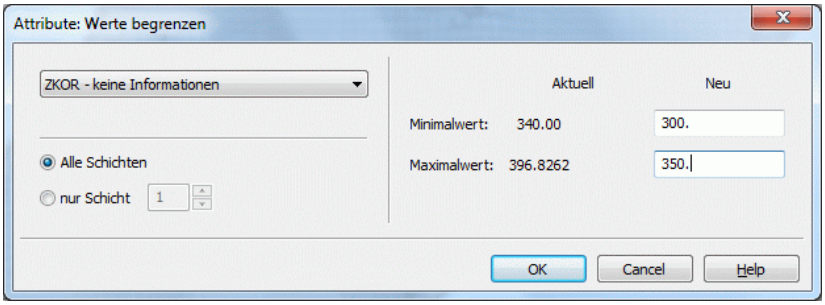
w^{neu}:	neuer Wert für Knoten/Element
ω:	Wichtung
w^{alt}:	alter Wert des Knotens/Elements
w_i:	Werte der umliegenden Knoten bzw. Elemente

Je größer der Wichtungsfaktor ω gewählt wird, desto geringer ist die Glättung.

Bei einem 3D-Modell kann gewählt werden, ob nur die Daten einer Schicht oder aller Schichten geglättet werden sollen. Es werden zur Glättung immer nur die horizontal mit dem Element bzw. Knoten benachbarten Element- bzw. Knotenwerte verwendet, so dass die Attribute nur jeweils innerhalb ihrer Schicht geglättet werden.

Begrenzen…

Es erscheint folgendes Eingabefenster bei einem 3D-Modell:



Mit diesem Menüpunkt können vorhandenen Daten nach oben oder unten durch einzugebende Werte begrenzt werden. Bei 3D-Modell können die Werte aller Schichten oder nur die Werte einer einzelnen Schicht begrenzt werden.

Nach Auswahl der gewünschten Kennung erscheinen die aktuellen Minimal- und Maximalwerte des Attributs, die im Feld „Neu“ entsprechend geändert werden können.

Bei Beenden des Menüs mit OK werden alle gefundenen Werte mit den neuen Extremwerten verschnitten und bei Unterschreiten bzw. Überschreiten durch das neue Minimum bzw. Maximum überschrieben.

Elementflächen

Bei Auswahl dieses Menüpunktes werden die Flächen aller Elemente berechnet und unter dem Attribut AREA [m²] gespeichert. .

Schichtmächtigkeit (nur 3D-Modell)

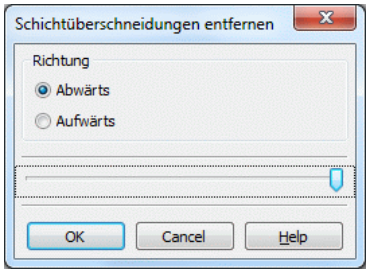
Die Schichtmächtigkeiten bei einem 3D-Modell werden durch Verschneiden der Z-Koordinaten an den Knoten wie folgt berechnet:

ZMAE (Schicht n) = ZKOR (Schicht n) - ZKOR (Schicht n+1).

Die Mächtigkeiten für alle Schichten werden unter dem Attribut ZMAE [m] gespeichert.

Korrektur Schichtüberschneidungen (nur 3D-Modell)

Wenn ein Objekt (z.B. eine tiefe Baugrube) in mehrere Schichten einschneidet, müssen die Knoten innerhalb des Objekts auf die unterste (oder oberste) betroffene Elementschicht gelegt werden. Dies geschieht mithilfe dieser Funktion.



Die fehlerhaften Schichtgrenzen sind im Knoten-Attribute-Dialog rot eingefärbt:

ZKOR 3	1000.42
ZKOR 4	-83.17
ZKOR 5	128.66
ZKOR 6	100.20
ZKOR 7	-83.17
ZKOR 8	56.92
ZKOR 9	-83.17
ZKOR 10	-1380.00

Formfaktor

Der Formfaktor wird aus dem Verhältnis Innenkreis zu Aussenkreis für alle Dreieckselemente berechnet. Für viereckige Elemente wird analog das Verhältnis kürzeste Seitenhalbierende zur längsten Strecke zwischen einem Eckpunkt und dem Mittelpunkt angesetzt. Für ein ideales dreieckiges Element (gleichseitiges Dreieck) ergibt sich ein Wert von 0.5, für ein quadratisches Element ein Wert von 0.7.

Der Formfaktor wird unter dem Attribut FORM [-] in der Modelldatei gespeichert.

Gefällegradient

Es wird der Gefällegradient für alle Elemente berechnet und unter dem Attribut GGRD [%] in der Modelldatei gespeichert.

Dichtekorrigierte Startpotentiale

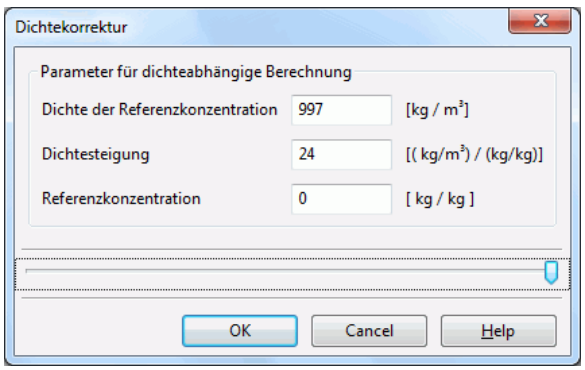
Dieser Menüpunkt ist nur aktiv, wenn in der Modelldatei (*.net oder *.3d) das Attribut AKON zugewiesen ist.

Die über EICH, POTE und VORF in den Modelldateien bzw. der instationären Eingabedatei eingegebenen Potentialhöhen h [m] müssen für die dichteabhängige Strömungsberechnung in Drücke p umgerechnet werden:

$$p = (h - z) * \rho * g$$

Dies geschieht mit der Dichte $\rho = \rho_0$ für die Konzentration $c_0 = 0$ bzw. die Temperatur $T = T_0$.

Wenn an Knoten mit Potentialhöhen die Attribute 1KON oder AKON vorgegeben sind und somit die Konzentration $c \neq 0$ (oder $T \neq T_0$ bei der Wärmeberechnung) ist, müssen die Potentialhöhen mit der Dichte $\rho = \rho(c)$ in einen "korrigierten" Wasserspiegel umgerechnet werden. Dies geschieht mit folgendem Dialog:



Durch Eingabe der entsprechenden Dichte-Parameter und Bestätigen mit *OK* werden die Potentialhöhen korrigiert und automatisch in der Modelldatei abgelegt. Die hier eingegebenen Parameter entsprechen den Werten, die im Dialog der dichteabhängigen Strömung (S. 319) eingegeben werden.

Beispiel:

Die Formel für die dichtekorrigierte Potentialhöhe h_{korr} lautet:

$h_{korr} = (h_{Start} - z) * \rho/\rho_0 + z$

mit:

h_{korr} [m] = anhand der Dichteparameter korrigierte Potentialhöhe für POTE, EICH und VORF

h_{Start} [m] = POTE, EICH, oder VORF an einem Knoten mit vorgegebenem 1KON oder AKON

z [m] = Lagehöhe des Knotens, im 3D-Modell die Z-Koordinate, im Vertikalmodell die Y-Koordinate

ρ_0 [kg/m³] = Dichte der Referenzkonzentration bei $c_0 = 0$

ρ [kg/m³] = bekannte/gewünschte Dichte $\rho(c = c_{max})$, c_{max} ist in der Regel die als 1KON oder AKON eingegebene Maximalkonzentration

Die im Dialog benötigte Dichtesteigung α ergibt sich durch Umstellen der linearen Dichtefunktion, die im Programmmodul SITRA umgesetzt ist:

$\rho(c) = \rho_0 + \alpha(c - c_0)$

zu:

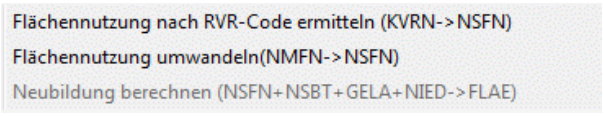
$\alpha = (\rho(c_{max}) - \rho_0) / (c_{max} - c_0)$, wenn für $c = c_{max}$ eingesetzt wird.

Weitere Angaben zu den benötigten Parametern und Umrechnungen finden sich im Kapitel "Dichteabhängiger Stofftransport" (S. 318).

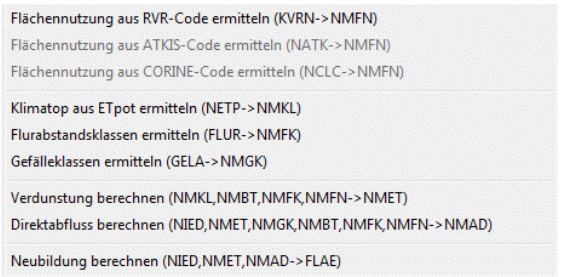
Neubildung

Zur Ermittlung der Grundwasserneubildung gibt es in SPRING derzeit drei Verfahren:

- Nach Schroeder &Wyrwich mit folgenden Menüpunkten:



- Nach Meßer 2008 mit den Menüpunkten:



- Nach Bodenwasserbilanz mit den Menüpunkten:

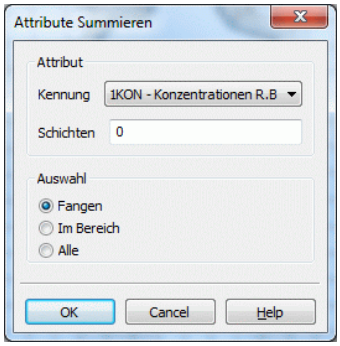
Wenn die grundlegenden Attribute (KVNR, NATK oder NCLC, NETP, FLUR, GELA) vorhanden sind, können an dieser Stelle die weiteren Attribute (NSFN, NMFN, NMKL, NMFK und NMGK berechnet werden. Danach können die weiteren Parameter der Wasserhaushaltsgleichung (Direktabfluss NMAD und reale Verdunstung NMET) ermittelt werden, so dass zuletzt die Berechnung der Neubildung erfolgen kann.

Eine ausführliche Beschreibung der Verfahren sowie der Eingangsdaten findet sich im Kapitel How To – “Berechnung mittlerer Neubildungsraten“ sowie im Internet auf der Website:

http://www.gwneu.de: “Ein vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der flächendifferenzierten Grundwasserneubildung in Mitteleuropa“

Attribute summieren…

Es erscheint folgendes Eingabefenster bei einem 3D-Modell:



Mit Hilfe dieses Menüpunktes können vorhandene Attribute einzeln, im Bereich oder insgesamt sowie ggf. für eine oder mehrere Schichten aufsummiert werden. Das Ergebnis wird anschließend in einem Dialog angezeigt.

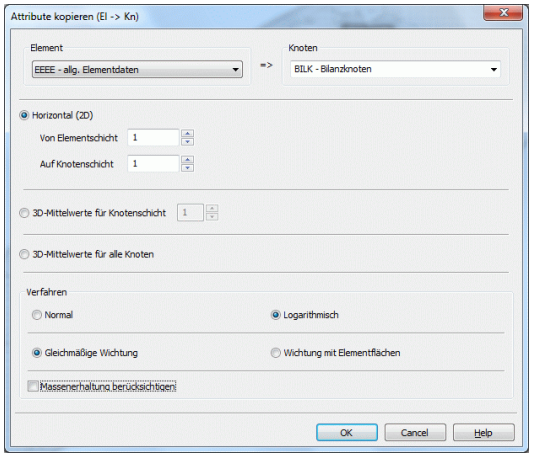
4.7.3 Attribute kopieren

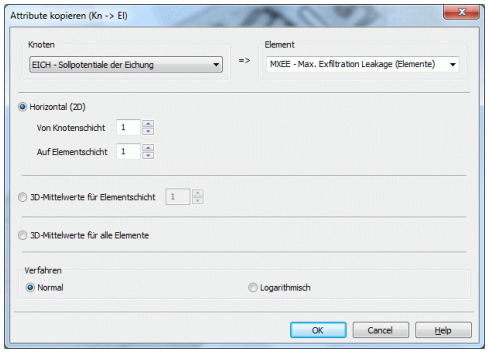
Es erscheint folgendes Untermenü:

Element → Knoten bzw. Knoten → Element

Mit diesen Menüpunkten lassen sich Element- auf Knotenattribute bzw. Knoten- auf Elementattribute umrechnen.

Es erscheinen folgende Eingabefenster in einem 3D-Modell:





Zunächst werden die zu kopierenden Attribute festgelegt.

Bei einem 3D-Projekt kann zwischen 3 Mittelwert-Ermittlungen gewählt werden:

- Bei der *horizontalen* Mittelung von einer Elementschicht in eine Knotenschicht werden die Werte der an den Knoten horizontal angrenzenden Elemente der ausgewählten Elementschicht zu einem Knotenwert gemittelt, der dann in der ausgewählten Knotenschicht abgespeichert wird (z.B. UNTE Schicht 1 werden auf ZKOR Schicht 5 gemittelt).
- Bei der *horizontalen* Mittelung von einer Knotenschicht in eine Elementschicht werden die (3 oder 4) Eckknotenwerte der ausgewählten Knotenschicht zu einem Elementwert gemittelt, der dann in der ausgewählten Elementschicht abgespeichert wird (z.B. ZKOR Schicht 7 werden auf UNTE Schicht 1 gemittelt).

- Bei den *3D-Mittelwerten für eine Knotenschicht* werden die Werte der an den Knoten angrenzenden Elemente aus den zwei die Knotenschicht angrenzenden Elementschichten gemittelt. Für eine ausgewählte Knotenschicht k sind das die Werte der an den Knoten angrenzenden Elemente in den Elementschichten k-1 und k (z.B. KSPE in Schicht 7 als Mittelwert aus SPEI).
- Bei den *3D-Mlittelwerten für eine Elementschicht* werden die Werte der Eckknoten des 3D-Elements (3 oder 4 Knoten oben und unten) gemittelt. Für eine ausgewählte Elementschicht k sind das die 3 bzw. 4 Werte der Elementeckknoten in der Knotenschicht k und k+1 (z.B. SPEI in Schicht 1 als Mittelwert aus KSPE).
- Für den *3D-Mittelwert für alle Knotenschichten* werden die Elementwerte wie bei dem *3D-Mittelwert für nur eine Knotenschicht* für alle Schichten gemittelt (z.B. KSPE in allen Knotenschichten als Mittelwert aus SPEI).
- Für den *3D-Mittelwert für alle Elementschichten* werden die Knotenwerte wie bei dem *3D-Mittelwert für nur eine Elementschicht* für alle Schichten gemittelt (z.B. SPEI in allen Elementschichten als Mittelwert aus KSPE).

Es kann zwischen einer normalen und einer logarithmischen Mittelwertbestimmung gewählt werden:

Normaler (arithmetischer) Mittelwert μ:

$\mu = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} w_i$, wobei w_i jeweils die angrenzenden Knoten- oder Elementwerte sind, die umgerechnet werden sollen und n die Anzahl der angrenzenden Knoten/Elementwerte.

Logarithmischer Mittelwert μ:

$\ln(\mu) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \ln(w_i)$, wobei w_i jeweils die angrenzenden Knoten- oder Elementwerte sind, die umgerechnet werden sollen und n die Anzahl der angrenzenden Knoten/Elementwerte. Dieses Verfahren eignet sich insbesondere bei positiven Elementwerten mit unterschiedlichen Größenordnungen wie z.B. K-Werte.

Bei der Umrechnung von Element- auf Knotenwerte kann entweder eine gleichmäßige Wichtung oder eine *Wichtung mit den Elementflächen* F_i vorgenommen werden. Bei der gleichmäßigen Wichtung bleibt der berechnete Mittelwert unverändert. Eine Wichtung über die Elementfläche erfolgt über die Berechnungsvorschrift:

Normal:

$\mu = \frac{\sum_{i=1}^{n} F_i * w_i}{\sum_{i=1}^{n} F_i}$ bzw.

Logarithmisch:

$\ln(\mu) = \frac{\sum_{i=1}^{n} F_i * \ln(w_i)}{\sum_{i=1}^{n} F_i}$

Wobei F_i die Fläche der angrenzenden Elemente ist.

Massenerhaltung berücksichtigen:

Soll die Massenerhaltung berücksichtigt

Bei der Umrechnung von Knoten- auf Elementwerte ist nur eine normale (gleichmäßige) Wichtung möglich:

$\mu = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} w_i$,

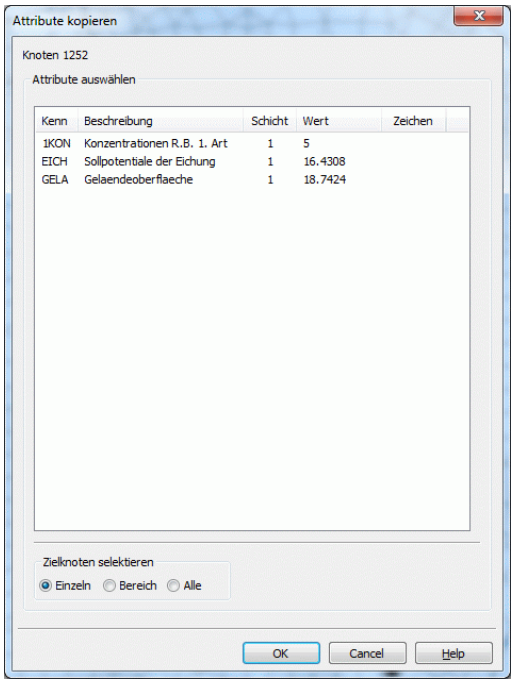
wobei w_i jeweils die angrenzenden Knotenwerte sind, die umgerechnet werden sollen und n die Anzahl der angrenzenden Knoten/Elementwerte.

werden (z.B. bei der Umrechnung von FLAE auf KNOT), werden die Elementwerte (z.B. Zuflussmengen) anteilig auf die Eckknoten des Elementes verteilt. Die Flächenwichtung und die Wahl der Mittelwertermittlung (logarithmisch/normal) haben in diesem Fall keine Bedeutung. Ein Knoten erhält von einem angrenzenden Viereck ein Viertel der Elementmenge, von einem angrenzenden Dreieck ein Drittel der Elementmenge usw.

Knotenweise bzw. Elementweise

Mit diesen Menüpunkten lassen sich ein oder mehrere Attribute eines bestimmten Knotens (Basisknoten) bzw. eines bestimmten Elements (Basiselement) auf andere Knoten bzw. Elemente kopieren. Dieser Basisknoten / dieses Basiselement wird durch Fangen oder die Eingabe der Knoten / Elementnummer ausgewählt.

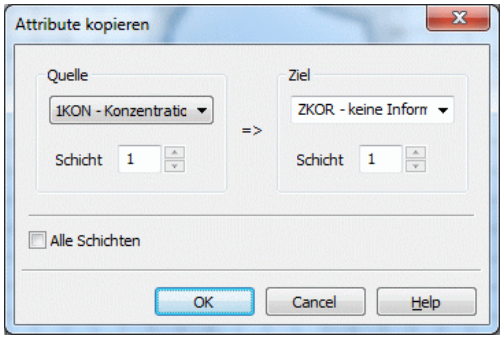
Es erscheint ein Eingabefenster mit den vorhandenen Attributen des gewählten Knoten oder Elements:



Aus dieser Liste können ein oder mehrere Attribute (ggf. STRG. SHIFT-Tasten verwenden) zum Kopieren ausgewählt werden. Die ausgewählten Attribute können entweder einzelnen oder in einem Bereich Zielknoten/-elementen zugewiesen werden. Alternativ können auch allen Knoten/Elementen die ausgewählten Attribute zugewiesen werden.

Attributweise…

Mit diesem Menüpunkt lassen sich ganze Datensätze belegter Attributwerte kopieren. Es erscheint folgendes Eingabefenster (3D-Modell):



An allen Knoten bzw. Elementen, an denen die Ausgangsdatenart (Quelle) vorhanden ist, erhält der Knoten bzw. das Element ein weiteres Attribut mit der Kennung der zweiten Datenart (Ziel) mit demselben Wert und Zeichen.

In einem 3D-Modell gibt es die Möglichkeit, die Daten schichtweise oder für alle Schichten gleichzeitig zu kopieren.

Man kann als Ziel-Datenart eine beliebige neue Datenkennung (SPRING konforme Bezeichnung) eingeben, allerdings erhält diese neue Datenart die gleichen Eigenschaften (z.B. Knotendaten, einfach belegt, 2D) wie die „Quell-Datenart“.

4.7.4 Stochastische Zuweisung von Daten

Bei der stochastischen Zuweisung von Daten wird zwischen korrelierten und unkorrelierten Daten unterschieden.

Unkorrelierte Generierung

Bei der *unkorrelierten* Generierung der Daten wird keine Ähnlichkeit der Daten in Abhängigkeit von deren Lage zueinander berücksichtigt.

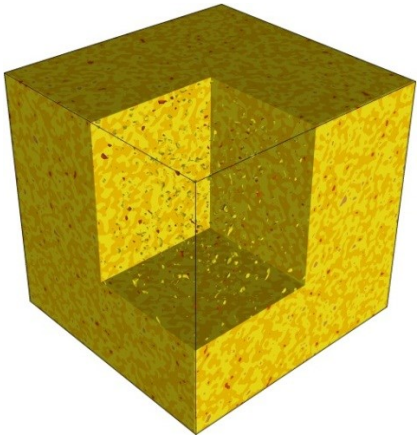
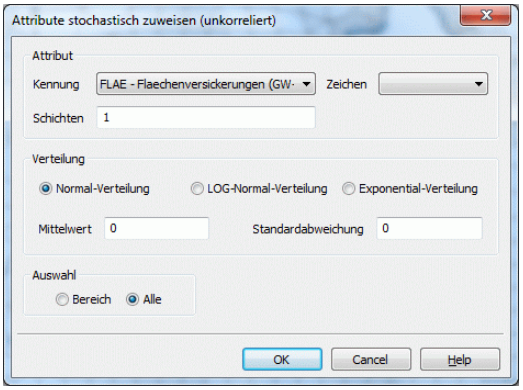


Abb. 69: Stochastisch generierte Daten ohne räumliche Korrelation

Eingabefenster: Unkorrelierte Generierung



Zunächst erfolgt die Auswahl des Attributs, des Attributzeichens und der Schicht (bei 3D-Modellen).

Bei der Generierung unkorrelierter Daten kann zwischen der Normal-, Log-Normal- und der Exponential-Verteilung gewählt werden. Die Verteilungsfunktionen werden im folgenden Kapitel erläutert.

Es wird der Mittelwert (μ) der zu generierenden Werte im Gleitpunktformat eingegeben.

Es wird die Standardabweichung (σ) der zuzuweisenden Verteilung eingegeben. Die Eingabe einer Standardabweichung bei Wahl der Exponentialverteilung ist nicht notwendig!

Die generierten Werte können bereichsweise oder allen Knoten bzw. Elementen der Schicht zugewiesen werden.

Korrelierte Generierung

Korrelierte Daten werden von SPRING mit Hilfe des "turning bands" -Verfahren generiert (vgl. z.B. "A. Tompson, R. Ababou, L. Gelhar"; Implementation of the Three-Dimensional Turning Bands Random Field Generator; Water Resources Research; Vol. 25, No. 10, 1989). Der implementierte Algorithmus geht von einem exponentiellen Ansatz für das Variogramm aus, bei dem die Korrelationslängen in den drei Raumdimensionen verschieden sein können.

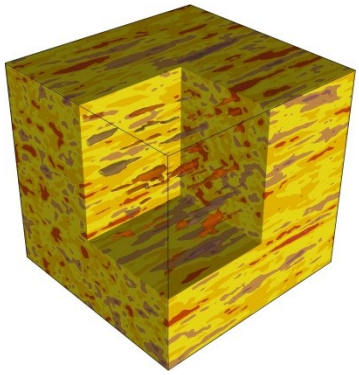
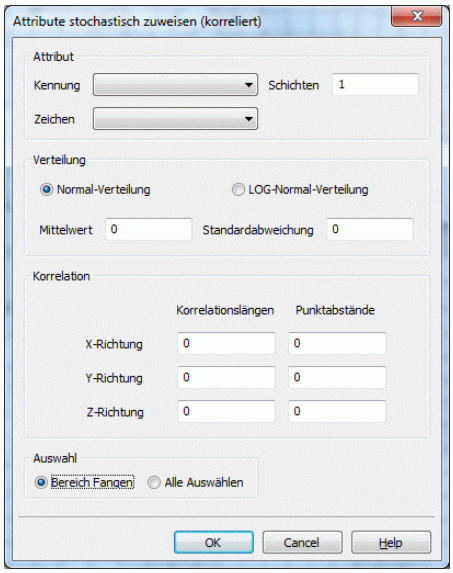


Abb. 70: Stochastisch generierte Daten mit räumlicher Korrelation

Eingabefenster: Korrelierte Generierung



Zunächst erfolgt die Auswahl des Attributs, des Attributzeichens und der Schicht (bei 3D-Modellen).

Im Gegensatz zur unkorrelierten Generierung kann bei korrelierten Daten nur zwischen der Normal- und der Log-Normal-Verteilung gewählt werden.

Bei der Generierung korrelierter Daten mit dem Turning-Bands-Verfahren ist die Eingabe der Korrelationslängen (in m) notwendig. Für eine vernünftige Realisation muss die Netzdichte wesentlich kleiner sein als die eingegebene Korrelationslänge. Der Bereich, innerhalb dessen Werte generiert werden sollen, muss mehr als doppelt so groß sein wie die Korrelationslänge in der entsprechenden Richtung.

Der implementierte Algorithmus benötigt eine "verallgemeinerte" Information über die Netzdichte. Die hierzu einzugebenden Punktabstände sollten zwischen der kleinsten und den mittleren Seitenlängen in den entsprechenden Richtungen liegen. Die Güte der Realisation wächst, je kleiner die hier eingegebenen Zahlen sind.

Der Rechenaufwand für die Generierung korrelierter Daten wächst sehr schnell mit der Anzahl der zu generierenden Daten und kleinen Punktabständen.

Erst bei genügend großer Anzahl generierter Daten und (bei der korrelierten Generierung) der Beachtung der oben erläuterten Beziehungen zwischen Netzdichte, Punktabständen und Korrelationslängen entsteht bei der Zählung der generierten Werte ein für die Verteilung typisches Bild.

4.7.5 Verteilungsfunktionen

Bei der stochastischen Zuweisung werden die folgenden Verteilungsfunktionen verwendet:

- Normal-Verteilung

Die Normal-Verteilung hat die Dichtefunktion:

$$\mathbf{f(x)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\,\mathbf{e}^{-\frac{(\mathbf{x}-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Eingabewerte zur Generierung von normalverteilten Werten (x) sind:

σ = Standardabweichung

σ^2 = Varianz

μ = Mittelwert

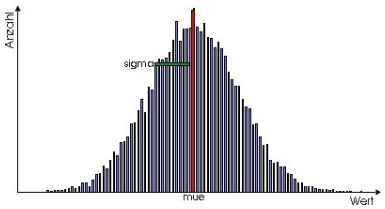


Abb. 71: Dichtefunktion für ca. 18000 mit der Normalverteilung generierte Werte

- Log-Normal-Verteilung

Bei der Log-Normal-Verteilung ist der Logarithmus der generierten Werte normalverteilt.

$$\mathbf{f(x)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\,\mathbf{e}^{-\frac{(\ln \mathbf{x}-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Eingabewerte zur Generierung von lognormal verteilten Werten (x > 0) sind:

σ = Standardabweichung

σ^2 = Varianz

μ = Mittelwert

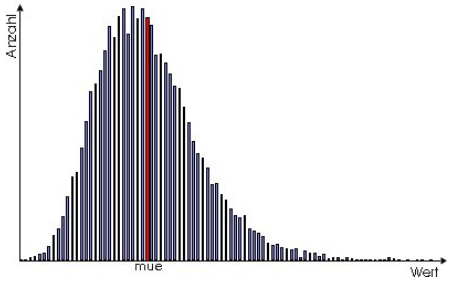


Abb. 72: Dichtefunktion für ca. 18000 mit der Lognormalverteilung generierte Werte

- Exponential-Verteilung (nur unkorrelierte Generierung)

Die Exponential-Verteilung hat für x > 0 die Dichtefunktion:

$$\mathbf{f(x)} = \frac{\mathbf{1}}{\mu}\,\mathbf{e}^{-\frac{\mathbf{x}}{\mu}}$$

Eingabewert zur Generierung von exponentiell verteilten Werten x > 0 ist der Mittelwert μ.

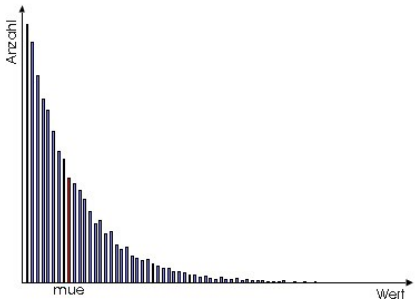
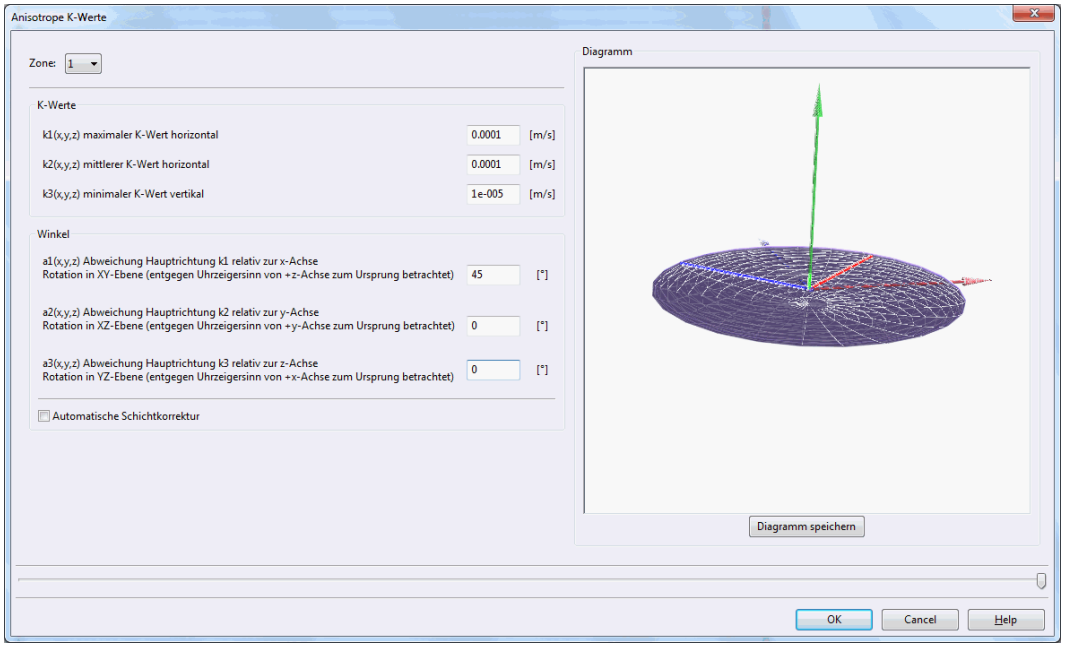


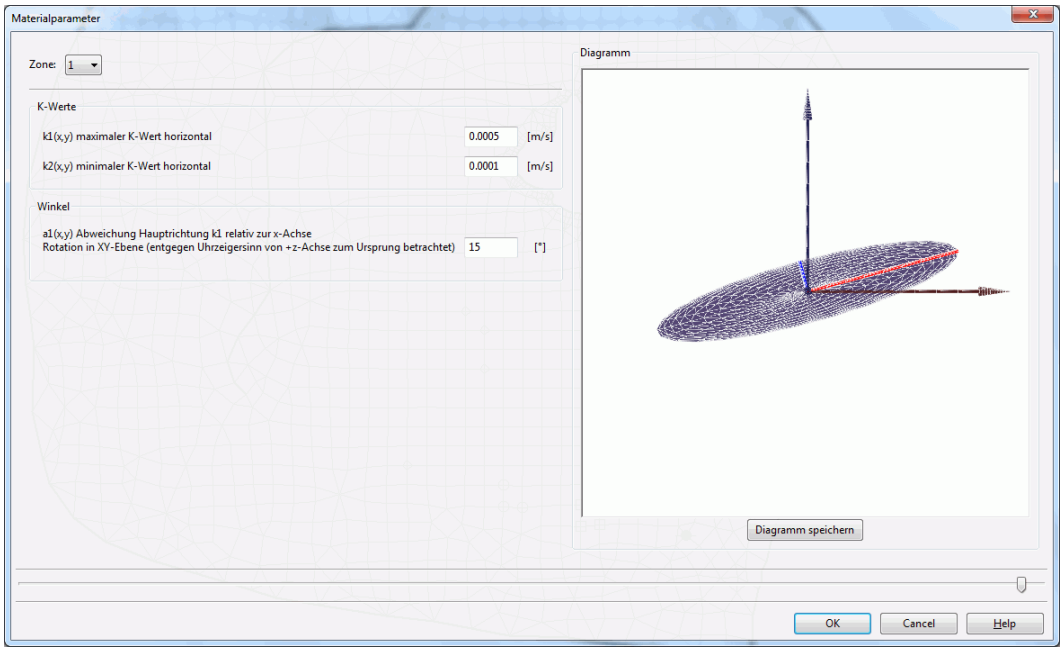
Abb. 73: Dichtefunktion für ca. 180000 mit der Exponentialverteilung generierte Werte

4.7.6 Anisotrope K-Werte

Zur Berücksichtigung von anisotropen K-Werten muss zunächst den Elementen mit gleicher Anisotropie eine Zone (Attribut ZONE im Horizontalmodell, Attribut Z-KA im 3D-Modell) zugewiesen werden (*Attribute → Zuweisen → Direkt...*). Den einzelnen Zonen können dann über das folgende Eingabefenster (3D-Modell) die entsprechenden K-Werte und zugehörigen Winkel zugewiesen werden:



Im Horizontalmodell sind folgende Eingaben erforderlich:



K-Werte

An dieser Stelle können anisotrope K-Werte entsprechend ihrer Raumrichtung differenziert zugewiesen werden.

Im 3D-Modell werden die eingegebenen K-Werte k1, k2, k3 zusammen mit den Winkeln a1, a2 und a3 nach dem Bestätigen mit *OK* und Speichern des Modells am Ende der *.3d-Datei des Modells automatisch zonenweise abgelegt. Das Attribut Z-KA wird automatisch in den unteren Schichten nachbelegt, wenn es dort nicht zugewiesen ist.

Im Horizontalmodell werden die eingegebenen K-Werte k1 und k2 sowie der Winkel a1 unter dem Attribut MATE in der *.net-Datei automatisch zonenweise gespeichert.

Winkel

Zusätzlich zu den richtungsabhängigen K-Werten lassen sich bei einem vom kartesischen Koordinatensystem abweichenden K-Wert-Ellipsoid die Winkel a1 (Horizontal- und 3D-Modell), sowie a2 und a3 (nur 3D-Modell) definieren.

Unter Berücksichtigung dieser Winkel werden die K-Werte nach dem folgenden allgemeinen Rotationalgorithmus korrigiert:

$k_{korr} = H^* k_{orig}^* H^T$

mit:

k_{korr} = Tensor der (schicht-)korrigierten K-Werte

k_{orig} = Tensor der K-Werte der Modelldateien

H = Rotationsmatrix mit den Winkeln a1, a2, a3

H^T = transponierte Rotationsmatrix

Winkel a1: Rotation in der X-Y-Ebene im Gegenuhrzeigersinn von der X-Achse aus gesehen

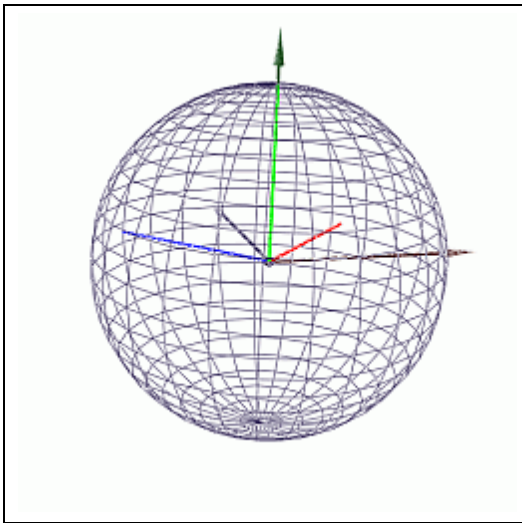
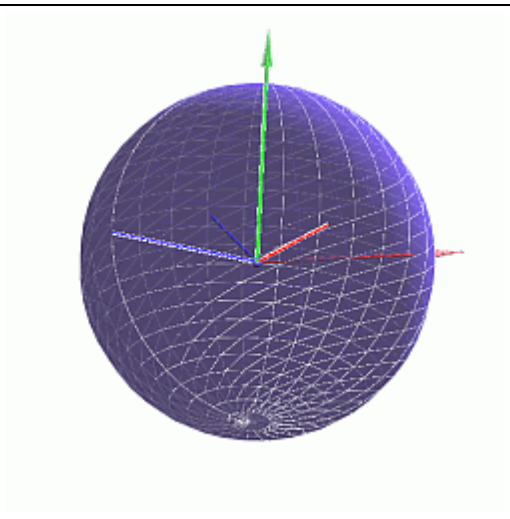
Winkel a2: Rotation in der neuen X-Z-Ebene im Gegenuhrzeigersinn von der neuen X-Achse aus gesehen

Winkel a3: Rotation in der neuen Y-Z-Ebene im Gegenuhrzeigersinn von der neuen Y-Achse aus gesehen

Vorschaudiagramm

Die gestrichelten Achsen im Vorschaubild (Beispiel 3D-Modell) kennzeichnen das kartesische Koordinatensystem x, y, und z. Die Angabe des Winkels a1 = 45° bedeutet, dass der maximale K-Wert in Richtung 45° relativ zur x-Achse wirkt. Im Beispiel ist zu erkennen, dass diese Angabe zu einer Drehung der x-y-Ebene um 45° führt (die durchgezogene rote Achse ist die neue x-Achse). Das Diagramm lässt sich als Bild an einem beliebigen Ort speichern.

Es besteht die Möglichkeit, mit der Taste "f" die Darstellung des gefüllten Shadermodells in eine Liniendarstellung zu ändern (nach Aktivieren des Vorschaufensters mit der linken Maustaste). Ebenso lässt sich das Modell mit der Taste "l" beleuchten.

	
Shadermodell als Linie (Taste "f")	Beleuchtungsmodell an (Taste "l")

Für diese Darstellung wurden k1 = k2 = k3 und a1 = 45° gesetzt.

Automatische Schichtkorrektur (nur 3D-Modell)

Generell gelten die in SPRING definierten Durchlässigkeitswerte (Attribut KWER) für isotrope Strömungsverhältnisse, d.h. die resultierende Strömungsrichtung ergibt sich durch das reine Potentialgefälle des Grundwasserleiters ohne Berücksichtigung der geometrischen Diskretisierung.

Durch Aktivieren dieses Buttons erfolgt eine optionale (und automatische) Schichtkorrektur, bei der die K-Werte automatisch an die Element- bzw. Schichtgeometrie angepasst werden. Da sich die Elementgeometrie in der Regel der geologischen Schichtung des Modellgebiets anpasst, erfolgt hiermit eine geometrische Korrektur der Durchlässigkeiten ohne Angabe von Winkeln.

Für die interne Berechnung wird die mittlere Ebene zwischen oberer und unterer "Element-Fläche" erzeugt und deren Normale berechnet. Die Abweichungen der Normalen zur jeweiligen Koordinatenebene ergeben die Winkel a1, a2, a3, mit denen die K-Werte nach dem oben beschriebenen allgemeinen Rotationalgorithmus korrigiert werden.

Sollen die K-Werte für ALLE Schichten korrigiert werden, ist eine Zuweisung des Attributs Z-KA nicht erforderlich. Hierfür reicht es, am Ende der Batchdatei *sitra.bsi* die folgende Zeile einzufügen:

```
ROTATION KWER
```

Die folgende Abbildung zeigt das Ergebnis der Strömungsberechnung mit (rote Potentiallinien) und ohne (blaue Potentiallinien) Berücksichtigung der schichtkorrigierten K-Werte für alle Schichten:

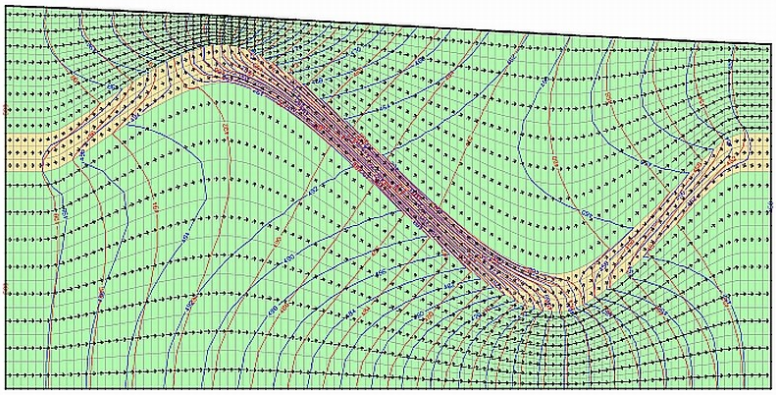


Abb. 74: Gegenüberstellung der Potentiallinien mit (rot) und ohne (blau) schichtkorrigierte K-Werte für alle Schichten

Die gelbe Schicht ist gegenüber den grünen Schichten um Faktor 100 undurchlässiger. Die Unterschiede in der Berechnungsweise zeigen sich insbesondere dort, wo das Gefälle der geologischen Schicht der horizontal ausgerichteten Grundwasserströmung entgegensteht.

Sollen die K-Werte nur für ausgewählte Schichten dem geologischen Verlauf angepasst werden, geschieht dies durch die Zonierung mit dem Attribut Z-KA.

Hierfür wird im Dialog die entsprechende Zone ausgewählt und der Button "Automatische Schichtkorrektur" aktiviert.

Die folgende Abbildung zeigt ein Modell, in dem lediglich die Schichten 9 bis 11 als Zone 2 definiert wurden. Die K-Werte sind für alle Schichten gleich (horizontal 0.0001, vertikal 0.0001), wie die zugehörigen Elementattribute zeigen:

Attribute

KENN	Schicht	Wert	Z	Gruppe	Beschreibung
KWER	1	0.0001			Durchlaessigkeiten (m/s)
UNTE	1	0			Unterkante des Grundwasserleiters
Z-KA	1	1			Zonierung fuer ansiotrope K-Werte
Z-KA	9	2			Zonierung fuer ansiotrope K-Werte
Z-KA	12	1			Zonierung fuer ansiotrope K-Werte

Aufgrund der automatischen Nachbelegung muss ab der Schicht 12 das Attribut Z-KA erneut zugewiesen werden, da Zone 2 nur für die Schichten 9 bis 11 gelten soll.

Für Zone 2 wurde dann eine automatische Schichtkorrektur durchgeführt. Die folgende Abbildung zeigt das Ergebnis der Strömungsberechnung:

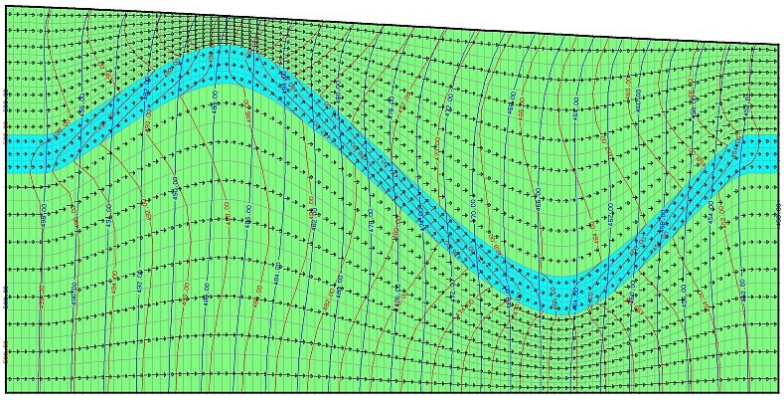
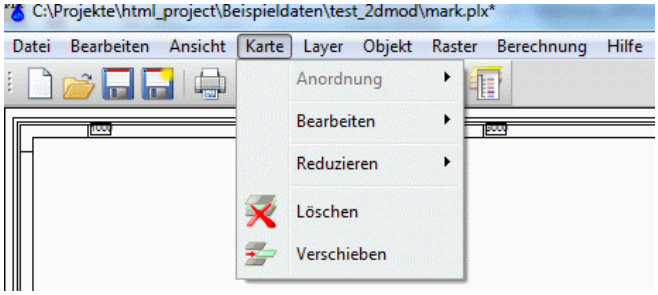


Abb. 75: Gegenüberstellung der Potentiallinien mit (rot) und ohne (blau) schichtkorrigierte K-Werte in Zone 2

Zone 2 umfasst die Schichten 9 bis 11, die in der Abbildung türkis eingefärbt sind. Zone 1 sind alle übrigen Schichten (grün).

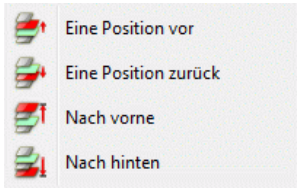
4.8 Karte

Das Karte-Menü ist nur im Modus Plotdatei wählbar. Folgende Menü-Punkte stehen zur Verfügung:



Anordnung

Im Untermenü stehen folgende Funktionen zur Auswahl:

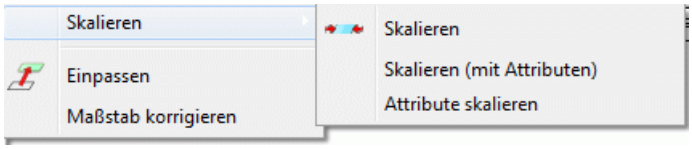


Bei mehreren geladenen Karten kann durch Aktivieren der einzelnen Menüpunkte die jeweils aktive Karte in ihrer Position verändert werden.

Die Reihenfolge der Grafikobjekte, wie sie sowohl auf dem Bildschirm als auch auf dem Ausgabegerät die Darstellung bestimmt, ist primär von der Reihenfolge der Objekte in den gelesenen Grafikdateien abhängig. Werden mehrere Karten nacheinander gelesen/überlagert, werden die zuletzt gelesenen Karten auch zuletzt dargestellt. Die Reihenfolge der Darstellung entscheidet darüber, welche Objekte andere verdecken können. Dies ist vor allem bei gefüllten Flächen oder sich exakt überdeckenden Linien von Bedeutung.

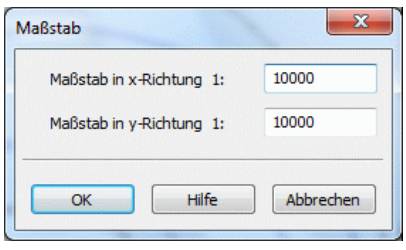
Bearbeiten

Es erscheint folgendes Untermenü:



- Skalieren, Skalieren (mit Attributen)

Soll eine Karte in einem anderen Maßstab dargestellt werden, ist dies durch die Funktion *Skalieren* möglich. Falls mehr als eine Karte vorliegen, muss zunächst die zu skalierende Karte mit dem Cursor identifiziert werden. Anschließend werden in dem eingeblendeten Eingabefenster die gewünschten Maßstabszahlen eingegeben:



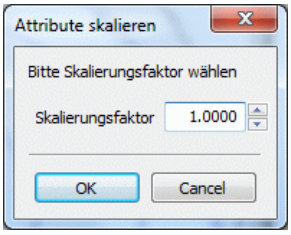
Es besteht die Möglichkeit, die beiden Koordinatenachsen unabhängig voneinander zu skalieren.

Sollen beim Skalieren der Karte auch die Objektattribute mit skaliert werden (insbesondere Texthöhen, Markerhöhen und Strichstärken), so ist ein *Skalieren (mit Attributen)* erforderlich!

- Attribute skalieren

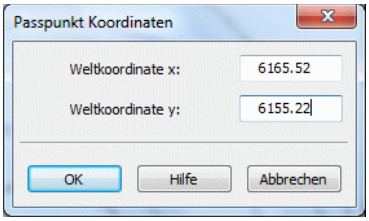
Oftmals sind Texthöhen, Markerhöhen und Strickstärken in einer Karte generell zu klein oder zu groß. Mit Hilfe dieses Menüpunktes können alle Attribute einer Karte durch Eingabe eines Skalierungsfaktors vergrößert (Skalierungsfaktor > 1.0) oder verkleinert (Skalierungsfaktor <1.0) werden. Die Karte behält dabei ihren Maßstab.

Falls mehr als eine Karte vorliegen, muss die Karte, deren Attribute skaliert werden sollen, mit dem Cursor identifiziert werden. Anschließend wird in einem Eingabefenster der gewünschte Skalierungsfaktor für die Attribute abgefragt:



- Einpassen

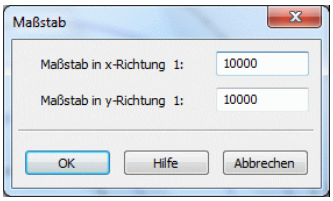
Mit dem Menüpunkt *Einpassen* kann das Koordinatensystem einer Karte zum Beispiel zur Vorbereitung des Überlagerns über eine andere Karte eingepasst werden:



Die Vorgehensweise beim Einpassen einer Karte ist identisch mit der des Menüpunktes *Raster → Einpassen*.

- Maßstab korrigieren

Beim Einlesen von Dateien ohne Maßstabsangaben (z.B. Struktur- oder dxf-Dateien) wird stets der Maßstab 1:10.000 angenommen. Um beispielsweise Fehler bei der Strecken- oder Flächenberechnung zu vermeiden, kann der Maßstab über diese Funktion geändert werden. Nachdem die entsprechende Karte über ein Objekt mit dem Cursor identifiziert ist, können in einem Eingabefenster die Maßstabszahlen korrigiert werden:



Reduzieren

Auf einen Layer:

Objekte können nur innerhalb eines Layers in ihrer Reihenfolge verschoben werden. Oft ist es aber notwendig, einzelne Objekte eines Layers vor Objekte eines anderen Layers zu verschieben. Dafür ist dieser Menüpunkt hilfreich: Ist mehr als eine Karte geladen, wird die entsprechende Karte über ein Objekt mit dem Cursor identifiziert. Alle Layer dieser Karte werden dann auf ein Layer reduziert, d.h. die Layerstruktur der Karte geht hierdurch verloren.

Auf eine Karte:

Mehrere importierte Karten können mit Hilfe dieses Menüpunkts auf eine Karte reduziert werden. Ist z.B. im Textfeld einer Karte ein Logo als eigene Karte durch Anlagern und anschließendes Skalieren und Verschieben mühsam positioniert worden, ist es oft erwünscht, einen so erstellten Kartenrahmen zum Überlagern für weitere Karten abzuspeichern oder als Einheit zu verschieben. Hierzu sollte dann die "Logo"-Karte in die eigentliche Karte integriert werden. Um alle eingeladenen Karten auf das Koordinatensystem einer Referenzkarte zu reduzieren, wird die Referenz-Karte, deren Koordinatensystem beibehalten werden soll, über ein Objekt mit dem Cursor identifiziert. Alle Karten werden dann auf diese Karte reduziert, d.h. die Koordinatensysteme der anderen Karten gehen hierdurch verloren.

Löschen, Verschieben

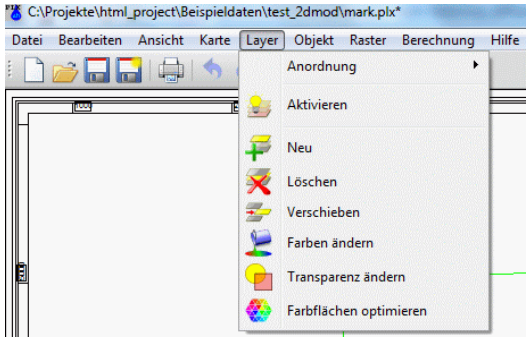
Um eine Karte zu *Löschen*, wird diese mithilfe des Cursors identifiziert.

Das *Verschieben* einer Karte innerhalb einer Grafik ist prinzipiell nur sinnvoll, wenn bereits mehrere Karten dargestellt sind. Zur Identifikation der zu verschiebenden Karte ist ein Grafikobjekt zu fangen, das zu der be-

treffenden Karte gehört. Bei gedrückter Maustaste wird das erscheinende, umgrenzende Rechteck der Karte zur neuen Position bewegt. Durch Loslassen der linken Maustaste wird die Operation beendet und die Karte wird an ihrer gewählten Position neu dargestellt.

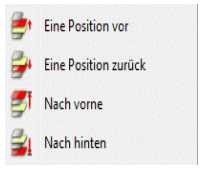
4.9 Layer

Das Layer-Menü ist sowohl im Modus Modelldatei als auch im Modus Plotdatei wählbar. Es ist bis auf den Menü-Punkt „Neu“ (nur Plotmodus) in beiden Modi identisch. Folgende Menü-Punkte stehen zur Verfügung:



Anordnung

Im Untermenü stehen folgende Funktionen zur Auswahl:



Die Menüpunkte *Eine Position vor* bzw. *Eine Position zurück* verändern die Reihenfolge der Darstellung so, dass das gewählte Layer in der Darstellungsfolge aller Layer der Karte um eine Position weiter nach vorne bzw. um eine Position weiter nach hinten versetzt wird.

Der Menüpunkt *Nach vorne* setzt das gewünschte Layer an die vorderste Stelle der Karte, d.h. es wird innerhalb der Karte zuletzt dargestellt und überlagert somit alle anderen Layer der Karte. Der Menüpunkt *Nach hinten* versetzt das gewählte Layer an die hinterste Stelle der Karte, d.h. es wird innerhalb der Karte zuerst dargestellt und somit von allen anderen Layern der Karte überlagert.

Das Verändern der Reihenfolge von Layern ist über diesen Menüpunkt nur innerhalb einer Karte möglich, so dass z.B. *Nach vorne* hier nur an die vorderste Position der Karte, zu der das Layer gehört, bedeutet und *Nach hinten* nur an die hinterste Position der Karte. Soll die Darstellungsfolge zweier Layer in unterschiedlichen Karten verändert werden, ist dies nur durch die Verlagerung der Kartenfolge oder durch Reduzieren aller Karten auf eine Karte möglich.

Aktivieren

Durch *Aktivieren* eines Layers kann (durch Anklicken eines zu diesem Layer gehörenden Objekts) das Layer bestimmt werden, in das die Objekte eingetragen werden, die im Menü *Objekt→ Zeichnen* erstellt werden oder deren Eigenschaften verändert werden sollen.

Neu

Über diesen Menüpunkt kann ein neues und leeres Layer in einer Karte erzeugt werden. Auf diesem Layer können dann z.B. eigene Objekte gezeichnet werden.

Löschen

Das zu löschende Layer wird mit dem Cursor ausgewählt. Ist nur ein Layer vorhanden, wird dieses ohne vorheriges Auswählen gelöscht.

Verschieben

Der Menüpunkt *Verschieben* erlaubt es, alle Objekte eines Layers auf einmal zu verschieben. Das entsprechende Layer wird über ein Objekt des Layers mit dem Cursor identifiziert und bei gedrückter linker Maustaste verschoben. Zur Orientierung wird hierbei der Rahmen des Layers auf dem Bildschirm angezeigt.

Wenn mehrere Karten geöffnet sind (Plot-Modus), kann das Layer in der Layerliste kartenübergreifend über den Projektmanager (Drag&Drop) verschoben werden, und die Skalierung wird der "Zielkarte" automatisch angepasst (das Layer wird überlagert). Die Karte, aus der ein Layer in eine andere Karte verschoben werden

soll, muss mindestens noch ein weiteres Layer enthalten. Ggf. kann einfach ein neues leeres Layer in dieser Karte angelegt werden. Anschließend kann das Layer verschoben werden.

Farben ändern

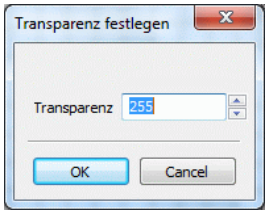
Der Menüpunkt *Farben ändern* erlaubt die Veränderung einzelner Farben, die allerdings nur auf das ausgewählte Layer beschränkt bleibt. Ist mehr als ein Layer geladen, so ist das Layer, für das die Farben geändert werden sollen, mithilfe des Cursors auszuwählen. Es erscheint ein Eingabefenster, in dem die Farben geändert werden können:

Zunächst ist zu entscheiden, ob die Farbwahl für ein Objekt des Layers oder das gesamte Layer gelten soll.

Soll die vorhandene Farbe geändert werden, erscheint nach Klicken auf den Button „nach“ eine Farbpalette, in der die gewünschte Farbe ausgewählt werden kann.

Transparenz ändern

Die Transparenz eines Layers kann zwischen „unsichtbar“ (= 0, völlige Transparenz) und „deckend“ (= 255, keine Transparenz) eingestellt werden mithilfe dieses Eingabefensters:

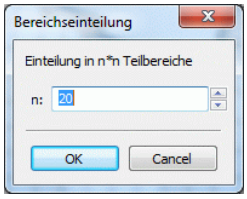


Dazu muss jedoch zuvor im Menü *Bearbeiten* → *Optionen* unter *Allgemein* das alternative Grafiksystem (S. 86) aktiviert werden

Farbflächen optimieren

Bei einem Flächenplot entstehen zunächst entsprechend der Diskretisierung der Elemente farbig gefüllte Polygone. Der Menüpunkt *Farbflächen optimieren* dient dazu, Layer mit vielen kleinen aneinandergrenzenden und mit derselben Farbe gefüllten Polygonen zu optimieren, d.h. durch geeignetes Zusammenfassen die Polygone in der Zahl zu verringern. Die Farbflächenoptimierung hat sowohl Vorteile beim Speichern der so optimierten Dateien, als auch beim Arbeiten mit diesen Dateien, da der Aufwand für den Bildschirmaufbau erheblich reduziert wird!

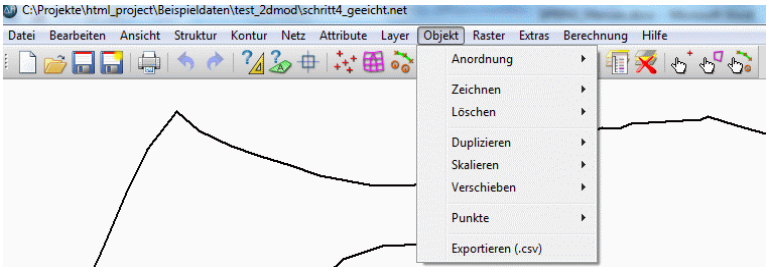
Ist mehr als ein Layer vorhanden, muss das zu optimierende Layer mit dem Cursor identifiziert werden. Es erscheint ein Eingabefenster:



Vor der Optimierung wird das Layer in n Teilbereiche eingeteilt, in die die Flächen zunächst einsortiert werden. Im Anschluss wird jeder Teilbereich separat optimiert, was einen deutlichen Geschwindigkeitsvorteil bringt. Dabei gilt: Je mehr Teilbereiche, desto schneller läuft die Optimierung.

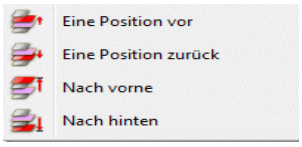
4.10 Objekt

Das Objekt-Menü ist sowohl im Modus Modelldatei als auch im Modus Plotdatei wählbar. Es ist in beiden Modi identisch. Folgende Menü-Punkte stehen zur Verfügung:



Anordnung

Im Untermenü stehen folgende Funktionen zur Auswahl:



Die vier Menüpunkte erlauben eine Veränderung der Position einzelner Objekte in der Reihenfolge innerhalb ihres Layers.

Eine Positionsänderung über Layergrenzen hinaus ist nicht möglich. Ist dies jedoch zwingend erforderlich, kann dies durch Reduzierung aller Layer der Karte auf ein Layer erreicht werden.

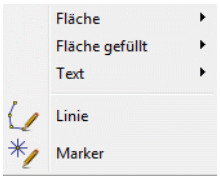
Die Menüpunkte *Eine Position vor* bzw. *Eine Position zurück* verändert die Reihenfolge der Darstellung so, dass das gewählte Objekt in der Darstellungsfolge aller Objekte des Layers um eine Position weiter nach vorne bzw. um eine Position weiter nach hinten versetzt wird.

Der Menüpunkt *Nach vorne* setzt das gewünschte Objekt an die vorderste Stelle des Layers, d.h. es wird innerhalb des Layers zuletzt dargestellt und überlagert somit alle anderen Objekte des Layers.

Der Menüpunkt *Nach hinten* versetzt das gewählte Objekt an die hinterste Stelle des Layers, d.h. es wird innerhalb des Layers zuerst dargestellt und somit von allen anderen Objekten des Layers überlagert.

Zeichnen

Im Untermenü stehen folgende Funktionen zur Auswahl:



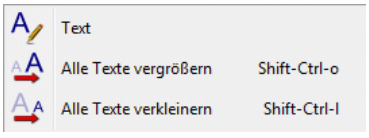
- Fläche, Fläche gefüllt

Es kann zwischen diesen Formen gewählt werden:

Der Menüpunkt *Fläche* zeichnet nur den Umriss der Fläche, während der Menüpunkt *Fläche gefüllt* die gezeichnete Fläche farbig ausfüllt.

- Text

Folgende Auswahl ist möglich:



Bei der Auswahl des Menüpunktes *Text* wird neuer Text hinzugefügt. Hierzu muss zunächst eine Position durch einen Klick mit der linken Maustaste festgelegt werden. Anschließend öffnet sich ein Dialogfenster, in dem der gewünschte Text eingegeben wird.

Bei der Auswahl des Menüpunktes *Alle Texte vergrößern* werden die vorhandenen Texte automatisch größer skaliert.

Bei der Auswahl des Menüpunktes *Alle Texte verkleinern* werden die vorhandenen Texte automatisch kleiner skaliert.

Sollen nur einzelne Texte (oder Objekte) vergrößert bzw. verkleinert werden, so geht dies über die Symbolleiste Objekteigenschaften. Diese ist vorab über das Menü *Ansicht → Symbolleisten → Objekt* einzublenden.

Über den Button „Objekteigenschaften anzeigen“ ( ) und Auswahl eines Objekts (linke Maustaste) werden die Eigenschaften (Farbe, Höhe etc.) des ausgewählten Objekts in der Symbolleiste dargestellt. Dort kann dann z.B. eine andere Höhe H für den Text eingegeben werden. Damit sich die Höhe beim anschließenden Zuweisen der Objekteigenschaften ändert, muss die Checkbox vor dem H aktiviert sein. Das Zuweisen der Objekteigenschaften erfolgt durch Klicken auf den Button in der Symbolleiste und anschließender Auswahl des zu ändernden Texts mit der linken Maustaste. Dieses Vorgehen ist für alle Objekte möglich.

- Linie

Der Menüpunkt *Linie* ermöglicht das Zeichnen einer Linie mit beliebig vielen Stützstellen, die miteinander durch Geraden verbunden sind. Nach Auswahl des Menüpunktes wird der Cursor durch Klicken der linken Maustaste auf den Anfangspunkt der Linie positioniert. Der Cursor wandert nun zum zweiten Punkt der Linie, welcher wiederum durch Klicken der linken Maustaste festgelegt wird. Dieser Vorgang wird nun so oft wiederholt, bis alle Geradenstücke des Linienzugs eingegeben sind. Das Betätigen der rechten Maustaste beendet die Funktion, ohne einen neuen Punkt zu definieren.

Die Anwendung bleibt so lange in dem Modus *Linie zeichnen,* bis die Funktion mit der rechten Maustaste beendet oder eine andere Funktion aktiviert wird.

- Marker

Mit dem Menüpunkt *Marker* werden mit einem Klick der linken Maustaste Symbole an die ausgewählte Position der Grafik gesetzt. Es stehen 35 Markertypen zur Verfügung. Es werden solange Marker erzeugt, bis die rechte Maustaste gedrückt oder eine andere Funktion aktiviert wird. Die Auswahl der Symbole und der Größe erfolgt über die Symbolleiste *Ansicht → Symbolleisten → Objekteigenschaften*. Diese muss zuvor eingeblendet werden.

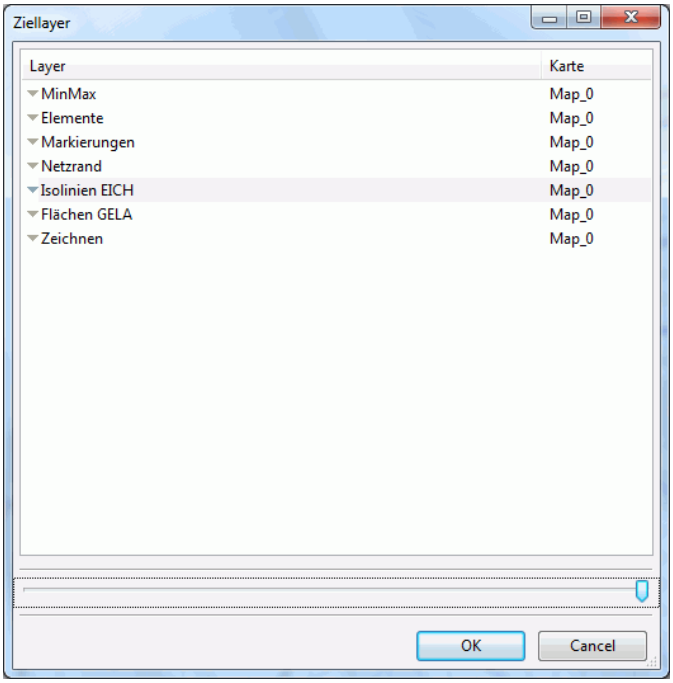
Löschen

Anhand dieses Menüpunktes können Objekte *Einzeln* ( ) oder *im Bereich* ( ) durch Auswählen mit der linken Maustaste gelöscht werden. Das Auswählen der Objekte (Einzeln oder Bereich) wird mit der rechten Maustaste beendet.

Der Löschvorgang kann durch die Funktion *Undo* rückgängig gemacht werden oder mit der Funktion *Redo* wiederholt werden.

Duplizieren

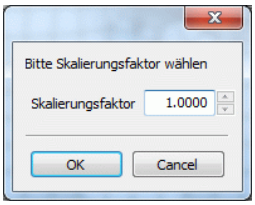
Anhand dieses Menüpunktes kann ein Objekt *Einzeln* ( ) oder *im Bereich* ( ) dupliziert/kopiert werden. Dazu wird das gewünschte Objekt oder der Bereich mit der linken Maustaste ausgewählt und mit der rechten Maustaste bestätigt. Es erscheint ein Auswahlfenster, in dem festgelegt wird, in welches Layer das gewählte Objekt kopiert wird:



Nach Aktivieren des ausgewählten Layers im Projektmanager kann das duplizierte Objekt anschließend mit dem Menüpunkt *Objekt → Verschieben* positioniert werden.

Skalieren

Anhand dieses Menüpunktes kann ein Objekt *Einzeln* ( ) oder *im Bereich* ( ) skaliert werden. Nach Auswahl eines oder mehrerer Objekte mit der linken Maustaste und bestätigen der Auswahl mit der rechten Maustaste erscheint folgendes Eingabefenster:



Ein Skalierungsfaktor > 1.0 vergrößert die Objekte, ein Faktor zwischen 0 und 1.0 verkleinert die Objektgröße.

Der Vorgang kann durch die Funktion *Undo* rückgängig gemacht werden oder mit der Funktion *Redo* wiederholt werden.

Verschieben

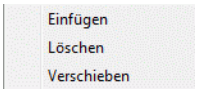
Anhand dieses Menüpunktes können Objekte *Einzeln* ( ) oder *im Bereich* ( ) verschoben werden. Das gewünschte Objekt oder der Bereich werden mit der linken Maustaste gewählt und bei gedrückter Maustaste an die gewünschte Stelle gezogen. Bei der Auswahl über einen Bereich ist zu beachten, welcher Layer aktiv ist.

Der Vorgang kann durch die Funktion *Undo* rückgängig gemacht oder mit der Funktion *Redo* wiederholt werden.

Punkte

Dieser Menüpunkt dient zur Bearbeitung von Linien- oder Polygonzug-Objekten.

Es erscheint folgendes Untermenü:



Mit dem Menüpunkt *Einfügen* können Zwischenpunkte in bereits bestehende Linien- oder Polygonzug-Objekte eingefügt werden. Das Objekt wird mit der linken Maustaste ausgewählt und die Punkte an den gewünschten Stellen mit der linken Maustaste markiert.

Der Menüpunkt *Löschen* entfernt die gewünschten Punkte aus einem bestehenden Objekt. Hierzu wird zunächst mit der linken Maustaste ein Objekt ausgewählt. Mit weiteren Klicks mit der linken Maustaste auf die zu löschenden Punkte verändert sich das Objekt.

Mit dem Menüpunkt *Verschieben* kann die Lage einzelner Punkte eines Linien- oder Polygonzug-Objekts verändert werden. Hierzu wird zunächst mit der linken Maustaste ein Objekt ausgewählt. Mit gedrückter linker Maustaste kann der zu verschiebenden Punkt bewegt werden. Durch Loslassen der Maustaste bleibt der Punkt an der gewünschten Position.

Die rechte Maustaste beendet jeweils die Funktion für das ausgewählte Objekt. Über eine weitere Auswahl mit der linken Maustaste kann ein weiteres Objekt bearbeitet werden. Zum Beenden der einzelnen Funktionen muss entweder eine andere Funktion aufgerufen oder nochmals die rechte Maustaste gedrückt werden.

Exportieren *.csv

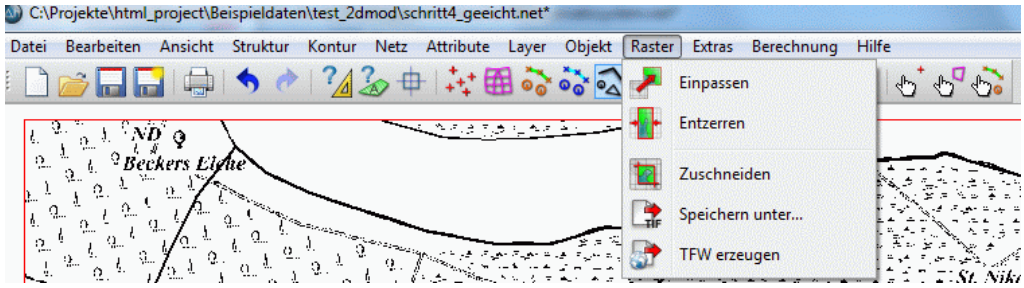
Nach Auswahl eines Objektes mit der linken Maustaste erscheint das Dateiauswahlfenster, in dem der Name der *.csv-Datei festgelegt wird. In der Datei werden die Koordinaten des Objektes in folgender Weise gespeichert:

- Punkt-Objekt (z.B. Marker an einem Brunnen): Die Koordinaten des Mittelpunkts werden gespeichert.
- Linien-Objekt: Die Koordinaten der einzelnen Geraden-Abschnitte werden gespeichert.
- Flächen-Objekte: Die Koordinaten der Eckpunkte werden gespeichert.

Über eine weitere Auswahl mit der linken Maustaste kann ein weiteres Objekt exportiert werden. Zum Beenden der Funktion *Exportieren* muss entweder eine andere Funktion aufgerufen oder die rechte Maustaste gedrückt werden.

4.11 Raster

Das Raster-Menü ist sowohl im Modus Modelldatei als auch im Modus Plotdatei wählbar. Es ist in beiden Modi identisch. Folgende Menü-Punkte stehen zur Verfügung:



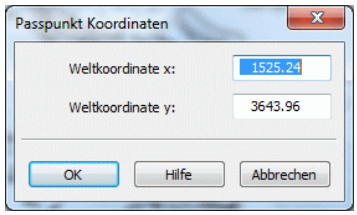
Einpassen, Entzerren

Die Funktionen *Einpassen* und *Entzerren* dienen dazu, ein Raster mit der dazugehörigen Koordinateninformation zu versehen, um das ortsgenaue Überlagern mit anderen Darstellungen zu ermöglichen. Das Raster wird georeferenziert.

Wenn in der ursprünglichen TIFF-Datei der Maßstab nicht verzeichnet ist, nimmt SPRING beim Einlesen einer solchen Datei den Maßstab 1:10.000 an.

Anhand des Menüpunktes *Karte → Bearbeiten → Maßstab korrigieren* muss zunächst der wirkliche Maßstab der TIFF-Datei angegeben werden. Ist dieser nicht bekannt, ist es möglich, über den Menüpunkt *Ansicht → Strecke/Winkel messen* die Länge einer bekannten Strecke in der Karte im Maßstab 1:10.000 berechnen zu lassen. Stimmen berechnete und wirkliche Länge nicht überein, ist aus dem Unterschied der beiden Größen der wirkliche Maßstab ableitbar.

Ist der Maßstab der TIFF-Datei bestimmt, muss nach Aufrufen der Funktion *Einpassen* mit der linken Maustaste ein Punkt markiert werden, dessen Koordinaten bekannt sind. Es erscheint folgendes Eingabefenster, in dem die tatsächlichen Koordinaten einzugeben sind:



Soll das Raster anschließend entzerrt werden, ist es günstig, wenn sich der zum Einpassen gewählte Punkt möglichst nahe an der unteren linken Bildecke befindet.

Um eventuell auftretende Verzerrungen des eingepassten Rasters auszugleichen, kann anhand des Menüpunktes *Entzerren* ein zweiter Punkt mit seinen realen Koordinaten eingegeben werden. Dieser zweite Punkt sollte möglichst nahe an der oberen rechten Ecke des Bildes liegen. Die Entzerrung wird linear über die beiden Passpunkte durchgeführt und ist deshalb nicht dazu geeignet, komplizierte Verzerrungen der Vorlage auszugleichen.

Wird eine TIFF-Datei eingelesen, für die bereits eine *.tfw-Datei (im gleichen Verzeichnis) vorliegt, kann auf das Einpassen des Rasters verzichtet werden.

Die Dateinamen der ".tif" und der ".tfw" Datei müssen (bis auf die Datei-Erweiterung) identisch sein!

Zuschneiden

Der Menüpunkt *Zuschneiden* ermöglicht das Zuschneiden eines rechteckigen Bereiches aus allen eingelesenen Rastern. Dies ist sinnvoll, wenn nur ein Teil des Bildes als Unterlage für die Darstellung benötigt wird. Es wird per linker Maustaste ein rechteckiges Fenster aufgezogen und alle Bereiche außerhalb dieses Fensters werden nach Loslassen der linken Maustaste aus den eingelesenen Rastern entfernt. Das geklippte Raster (*.tif und *.tfw) wird automatisch im Arbeitsverzeichnis gespeichert. Dem ursprünglichen Dateiname wird ein _clip angehängt.

Speichern unter…

Speichern unter… führt zum Abspeichern des aktuellen Zustands des Rasters einschließlich der bis dahin durchgeführten Veränderungen. Sind mehrere Raster geladen, müssen diese gesondert gespeichert werden. Hierzu ist das jeweils zu speichernde Raster mit der linken Maustaste zu identifizieren. Es erscheint ein Dateiauswahl-Fenster, in dem der Name der TIFF-Datei eingegeben werden kann.

Schwarz-weiße TIFF-Dateien werden in der Komprimierung CCITT FAX 4 gespeichert, farbige TIFF-Dateien in der Komprimierung PACKBITS.

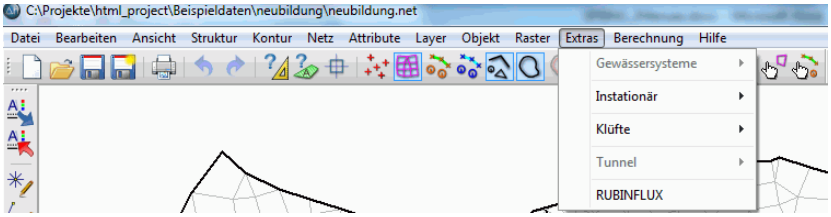
TFW erzeugen

Mithilfe dieses Menüpunktes wird eine *.tfw-Datei gespeichert, die die erzeugten "Einpass-Informationen" beinhaltet. Sind mehrere Raster eingeladen, müssen diese gesondert gespeichert werden. Hierzu ist das jeweils zu speichernde Raster mit der linken Maustaste zu identifizieren.

Der Name der *tfw-Datei wird automatisch aus dem Namen der Raster-Datei gebildet.

4.12 Extras

Das Extras-Menü ist nur im Modus der Modelldatei vorhanden. Folgende Menü-Punkte stehen zur Verfügung:

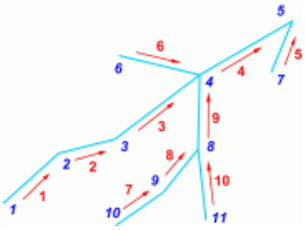


Gewässersysteme

In SPRING steht eine integrierte Vernetzung von Gewässersystemen zur dargebots-bezogenen Berücksichtigung von Austauschprozessen zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser zur Verfügung. Dieses Tool ist für stationäre und instationäre Fragestellungen und für 2D- oder 3D-Fragestellungen verfügbar.

Die Gewässervernetzung ermittelt das grundwasserbürtige Dargebot (Abflussmengen) auch über die tieferen Schichten entlang der Fließrichtung. Dies erfordert die Definition der Gewässersysteme, nicht jedoch der Gerinneparameter "Breite", "Manning-Strickler-Wert", "Gefälle" bzw. "Gradient" in den tieferen Schichten.

Zur Nutzung dieser Erweiterung der Interaktion zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser muss lediglich sichergestellt werden, dass eine eindeutige Fließrichtung und die Verknüpfung der Gewässeräste gegeben ist.

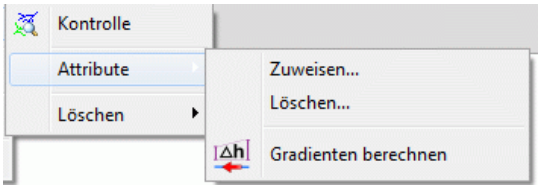


Auch wenn eine Ableitung von Wasserständen (VORF als Ergebnisdaten) in tieferen Schichten technisch möglich ist, ist dies nicht vorgesehen, da hierbei die Lagehöhe der Knotenschicht eingeht. Sinnvollerweise wird daher die Definition der Gewässer auf die oberste Schicht gesetzt.

Achtung:

- Eine mehrfache Zuweisung von Gewässersystemen und Gewässersystem-relevanten Parametern ist zu vermeiden, da keine Attribut-Überprüfung erfolgt.
- Ein Gewässersystem kann nur in einer Knotenschicht liegen, also nicht bereichsweise die Schicht wechseln.

Im Untermenü stehen folgende Funktionen zur Auswahl:



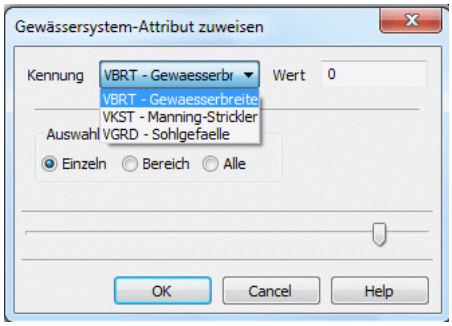
- Kontrollen

Hier erfolgt eine Kontrolle auf die Richtigkeit der Fließrichtung der Gewässersysteme. Aufgrund der Massenerhaltung fließt an jedem Gewässerknoten immer genau ein Strom weg und beliebig viele dürfen zu einem Gewässerknoten hinfließen.

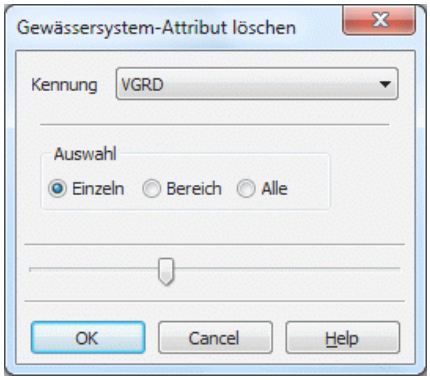
Die Auftrennung eines Gewässers in zwei entgegengesetzte Fließrichtungen hat eine Fehlermeldung zur Folge.

- Attribute zuweisen/löschen

Es erscheint ein Eingabefenster, in dem die Gewässersystem-Attribute definiert und zugewiesen werden können.

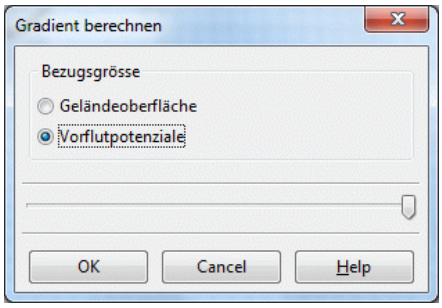


Beim Löschen erscheint folgendes Eingabefenster:



- Gradienten berechnen

Nach Auswahl dieser Funktion erscheint ein Dialogefenster, in dem der Benutzer wählen kann, ob der Gefällegradient aus den Vorflutpotentialen oder der Geländeoberkante berechnet wird.



Es wird das Attribut VGRD für alle Gewässersysteme berechnet (Einheit: Promille) und nach dem Speichern des Modells in der Modelldatei abgelegt. Der Gradient (entspricht dem Sohlgefälle) ergibt sich aus dem Verhältnis der Differenz der Geländeoberkanten oder Vorflutpotentiale zum Abstand der benachbarten Knoten entlang der betroffenen Elementkante. Im Menüpunkt *Ansicht → Attribute darstellen → Auf Gewässersystemen* (S. 86ff.) lässt sich nach Auswahl des Attributes VGRD die Gefällerichtung an den Elementkanten durch Pfeile darstellen.

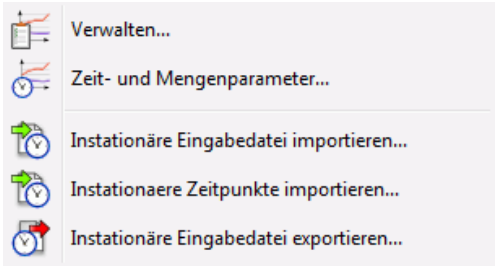
- Löschen

Wenn Flussnetzwerke vorhanden sind, können diese einzeln, im Bereich oder komplett gelöscht werden, da sie als separate Gewässersystemlayer abgelegt sind.

Instationär

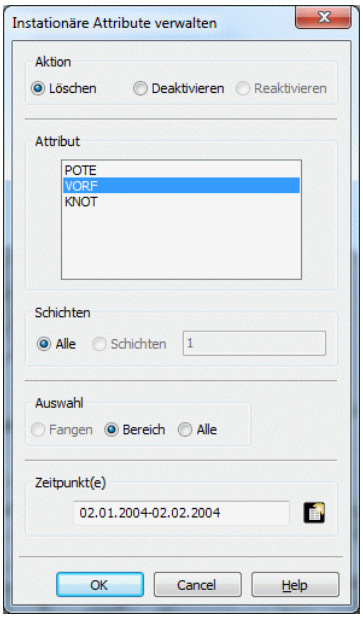
Die Erstellung instationärer Strukturen ist im Kapitel “Modellaufbau, Instationäre Eingabedatei aus instationären Strukturen" beschrieben.

Im Untermenü stehen folgende Funktionen zur Auswahl:



- Verwalten…

Diese Funktion ist erst aktiv, wenn eine instationäre Eingabedatei importiert wurde. Es erscheint folgendes Eingabefenster:



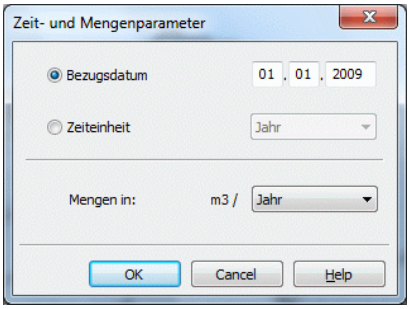
Über die verschiedenen Buttons kann die importierte Datei bearbeitet werden:

Je nach gewählter Aktion kann das jeweilige Attribut gelöscht, deaktiviert oder reaktiviert werden, und zwar z.B. schichtweise, bereichsweise oder nur zu einigen Zeitpunkten.

Erst durch den Datenexport mit *Instationäre Eingabedatei exportieren* werden die Änderungen in einer (neuen) instationären Datei gespeichert.

- Zeit- und Mengenparameter…

Nach Auswahl dieser Funktion erscheint folgendes Eingabefenster:



Hier kann das Bezugsdatum, die Zeit- und die Mengeneinheit der importierten instationären Eingabedatei verändert werden.

Wahl der Mengen-Einheit:

Hier wird die gewünschte Zeiteinheit eingestellt, die für mengenbezogene instationäre Daten gelten soll. Die Zeiteinheit bezieht sich ausschließlich auf die instationäre Eingabedatei.

Erst durch den Datenexport mit *Instationäre Eingabedatei exportieren* werden die Änderungen in einer (neuen) instationären Datei gespeichert.

- Instationäre Eingabedatei importieren...

Es erscheint ein Dateiauswahlfenster, in dem der Anwender eine instationäre Datei zum Import auswählen kann. Diese Datei kann mit den hier angebotenen Menüpunkten bearbeitet werden.

- Instationäre Zeitpunkte importieren...

Wurde eine instationäre Datei importiert, können mithilfe dieses Menüpunktes neue (leere) Zeitpunkte in die importierte Datei eingelesen werden. Dies dient dazu, bei Simulationen Berechnungszeitpunkte zu erzwingen, ohne dass Randbedingungen verändert werden. Diese können als Liste von Zeitpunkten:

1.1

2.3

3.5

...

oder als Datumsangabe:

18.06.2014

05.07.2014

08.09.2014

...

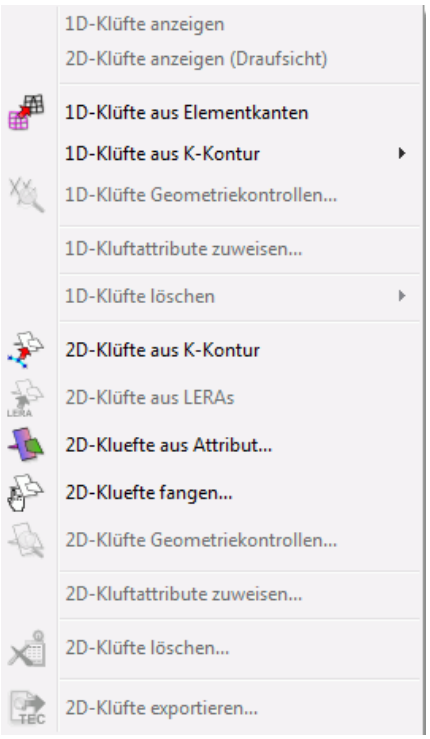
importiert werden. Die Wahl des Datenformats ist abhängig von der Zeitangabe in der importierten Eingabedatei.

- Instationäre Eingabedatei exportieren

Nach Auswahl dieses Menüpunktes erscheint ein Dateiauswahlfenster, in dem der Anwender die bearbeitete importierte Datei als neue instationäre Eingabedatei unter einem anderen Namen exportieren kann.

Klüfte

Wenn Kluft-Konturen vorhanden (Kapitel “Kluft-Konturen erstellen“, S. 128) sind, stehen im Untermenü folgende Funktionen zur Auswahl:



- 1D-, 2D-Klüfte anzeigen

Wenn vorhanden, können die Klüfte dargestellt werden.

Beispiel einer 2D-Kluft (Fallrichtung 280°):

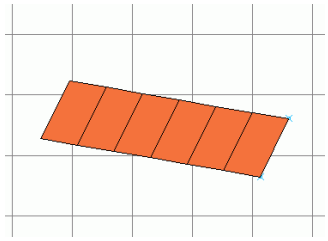
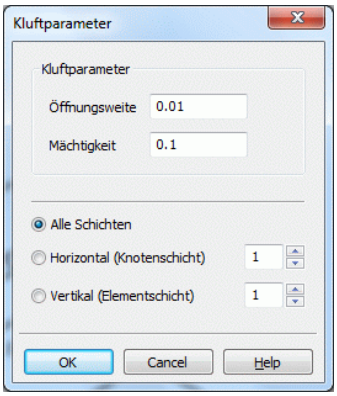


Abb. 76: Draufsicht einer 2D-Kluft (Fallrichtung 280°)

- 1D-Klüfte aus Elementkanten erzeugen

Es erscheint folgender Eingabedialog:



Nach Auswahl einer Schicht oder aller Schichten werden entlang der horizontalen oder vertikalen Elementkanten Klüfte erstellt. Die Kluftparameter werden festgelegt.

- 1D bzw. 2D-Klüfte aus K-Kontur erzeugen

Erst durch Auswahl dieser Menüpunkte werden die vorher erzeugten K-Konturen als Klüfte in das Modell übernommen. Durch den entsprechenden Eintrag im Projektinformationsfenster (1D-Klüfte:... bzw 2D-Klüfte: …) ist das erkennbar. Bei den 1D-Klüften können die Klüfte durch *Fangen* (dazu müssen die Konturen dargestellt werden), im *Bereich* oder *Alle* ausgewählt werden. Die 2D-Klüfte werden manuell ausgewählt (vorher Konturen darstellen).

Über *Ansicht → Weitere Fenster → 3D-Ansicht* können die Klüfte im Raum dargestellt werden:

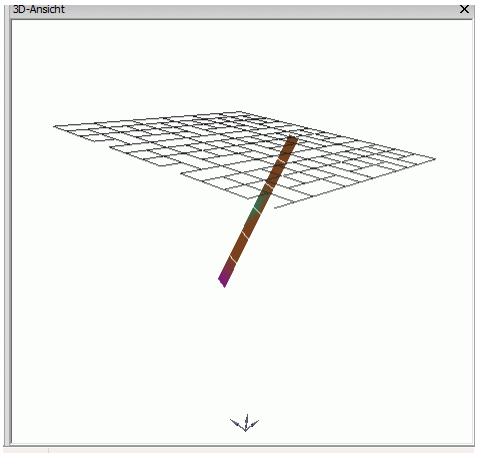


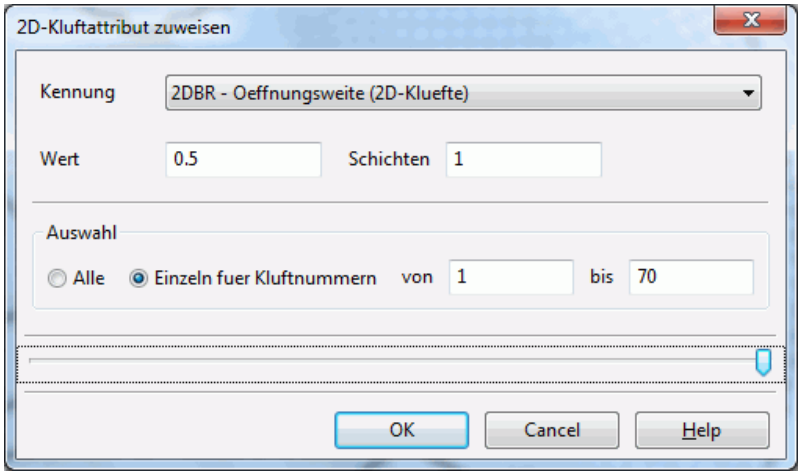
Abb. 77: 2D-Kluft mit Fallwinkel 85°

- 1D- , 2D-Klüfte Geometriekontrollen

Bei den Geometriekontrollen wird überprüft, ob sich Klüfte schneiden. Dies ist derzeit modelltechnisch noch nicht möglich.

- 1D- oder 2D-Kluftattribute zuweisen

Bei Aufruf dieser Menüpunkte erscheint ein Dialog:



Hierüber können den Klüften direkt Attribute mit Werten zugewiesen werden.

- 1D-Klüfte löschen

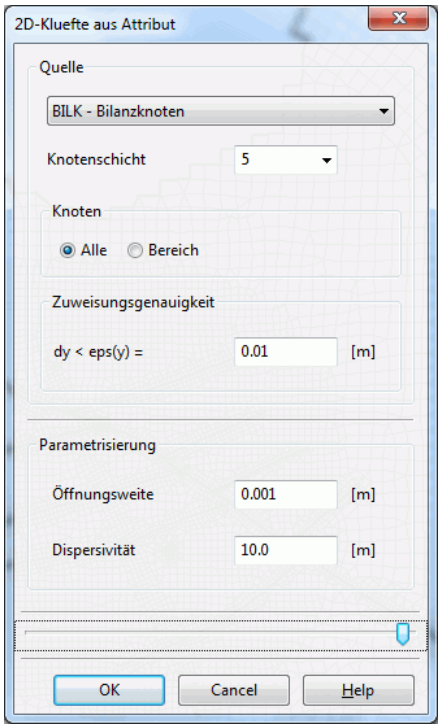
Die 1D-Klüfte können manuell gelöscht werden durch *Fangen*, sie können in einem *Bereich* oder *Alle* auf einmal gelöscht werden.

- 2D-Klüfte aus LERAs

Dieser Menüpunkt beinhaltet die Funktion „Lera2Kluft“, die bisher nur als Python-Skript zur Verfügung stand. Der Menüpunkt ist erst aktiv, wenn die Datenart LERA im Modell vorhanden ist. Die Funktionsweise wird im Kapitel: „Aufbau eines 3D-Modells“, (S. 215) ausführlich beschrieben.

- 2D-Klüfte aus Attribut...

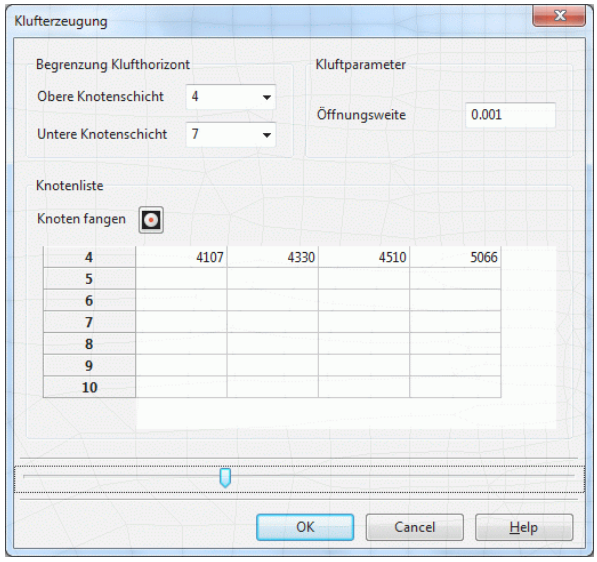
Es erscheint folgender Dialog:



Über vorhandene Attribute können ebenfalls 2D-Klüfte erzeugt werden.

- 2D-Klüfte fangen

Dieser Menüpunkt ermöglicht es, über die Benutzeroberfläche vertikal senkrechte oder schräge Klüfte zu erstellen. Es erscheint folgendes Eingabefenster:



In diesem lassen sich die die Kluft begrenzenden Schichten und die Kluftöffnungsweite festlegen. In der Knotenliste können die Kluft-Knoten manuell oder interaktiv über die Benutzeroberfläche definiert werden. Die folgende Abbildung zeigt eine so erstellte vernetzte Kluftschar:

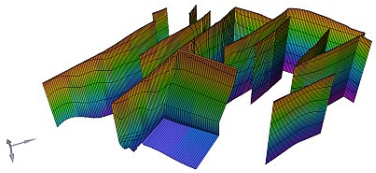
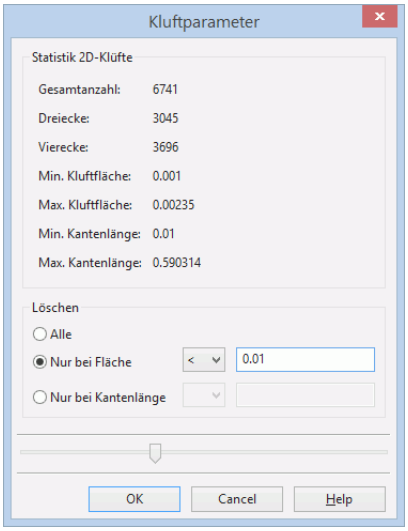


Abb. 78: Beispiel einer vernetzten Kluftschar, bestehend aus senkrechten und schrägen Klüften

- 2D-Klüfte löschen

Dieser Menüpunkt ermöglicht das Löschen aller Klüfte. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, über den Dialog 2D-Klüfte selektiv entweder über die Kantenlänge oder den Flächeninhalt zu löschen. Es erscheint folgendes Eingabefenster:



In der Statusleiste am unteren Bildschirmrand wird nach dem Bestätigen mit *OK* angezeigt, wie viele Klüfte mit dem passenden Merkmal gelöscht wurden.

- 2D-Klüfte exportieren

Es erscheint ein Dateiauswahlfenster, in dem die Exportdatei für das Programm TECPLOT festgelegt wird.

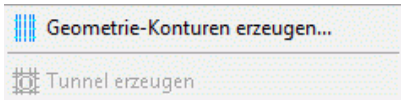
RUBINFLUX

Dieser Menüpunkt führt zur instationären Neubildungsberechnung mit RUBINFLUX. Eine ausführliche Beschreibung des Verfahrens sowie der Eingangsdaten findet sich im Kapitel: How To – “Berechnung einer instationären Neubildungsrate" (S. 432).

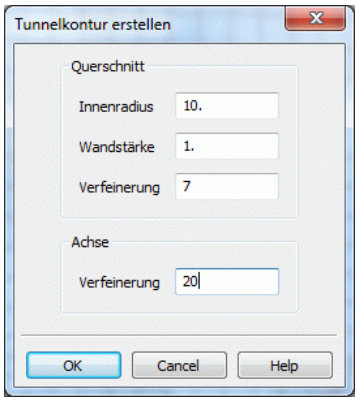
4.12.1 Tunnel - Erstellung

Grundlage zur Erstellung eines Tunnels ist eine l-Struktur, deren Höhe der Mittelachse des geplanten Tunnels entspricht. Die Höhe kann als Attribut KKKK zugewiesen werden.

Im Untermenü stehen folgende Funktionen zur Auswahl:



Der Menüpunkt *Geometrie-Konturen erzeugen…* ( ) ist aktiv, wenn eine l-Struktur vorhanden ist. Wird er ausgewählt, kann mit der linken Maustaste die gewünschte l-Struktur angeklickt werden, und nach Drücken der rechten Maustaste erscheint das folgende Eingabefenster:



Der Innenradius und die Wandstärke des Tunnels werden in m angegeben. Die Verfeinerung des Querschnitts definiert, wie der Tunnel abgebildet wird. In diesem Fall wird der Tunnelquerschnitt als Siebeneck abgebildet. Die Verfeinerung der Achse entspricht dem Menüpunkt *Kontur → l-Struktur bearbeiten → n-mal teilen.*

Anleitung zur Tunnelerstellung

- Erzeugen einer l-Struktur von der Mittelachse des Tunnels, Werte (Attribut KKKK) an den Eck- bzw. Anfangs- und Endknoten der Struktur entsprechen der NN-Höhe der Mittelachse und werden unabhängig von der Datenart vom Programm als Höhe interpretiert.
- Aufruf des Menüpunktes Extras → Tunnel → Geometrie-Konturen erzeugen…
- Auswahl der l-Struktur mit der linken Maustaste und Aufruf des Parameter-Menüs mit der rechten Maustaste, Eingabe der Parameter: Es erscheinen die zur Mittelachse parallelen Konturen.
- Bestehendes Netz im Bereich des Tunnels löschen und Knoten und Elemente neu erzeugen
- Wichtig: Attribute, insbesondere Geländehöhe und Z-Koordinaten im neuen Netzbereich erneut zuweisen.
- Erneuter Aufruf des Menüpunktes *Extras → Tunnel → Geometrie-Konturen erzeugen… ,* Auswahl der Tunnelachse und erneute Parametereingabe.
- Mit Menüpunkt *Extras → Tunnel → Tunnel erzeugen* wird Tunnel erzeugt.

Das Ergebnis lässt sich im Menü *Ansicht → Vertikalschnitt* visualisieren.

In der Draufsicht sieht die zuvor erstellte Tunnel-Kontur folgendermaßen aus (Ausschnitt):

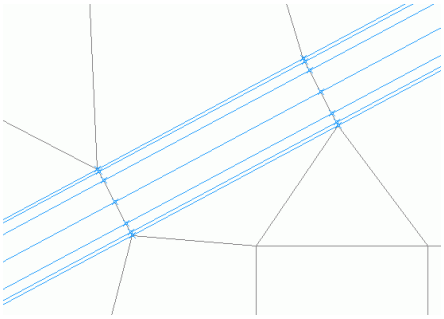


Abb. 79: Draufsicht einer bereits neu vernetzten Tunnel-Kontur

Die insgesamt sieben Linien stellen die Querschnittsverfeinerung dar, die Mittellinie ist die ursprüngliche I-Struktur.

Vertikalschnitt des fertigen Tunnels:

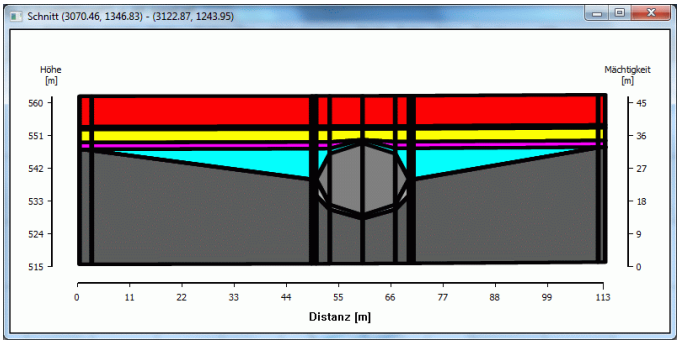
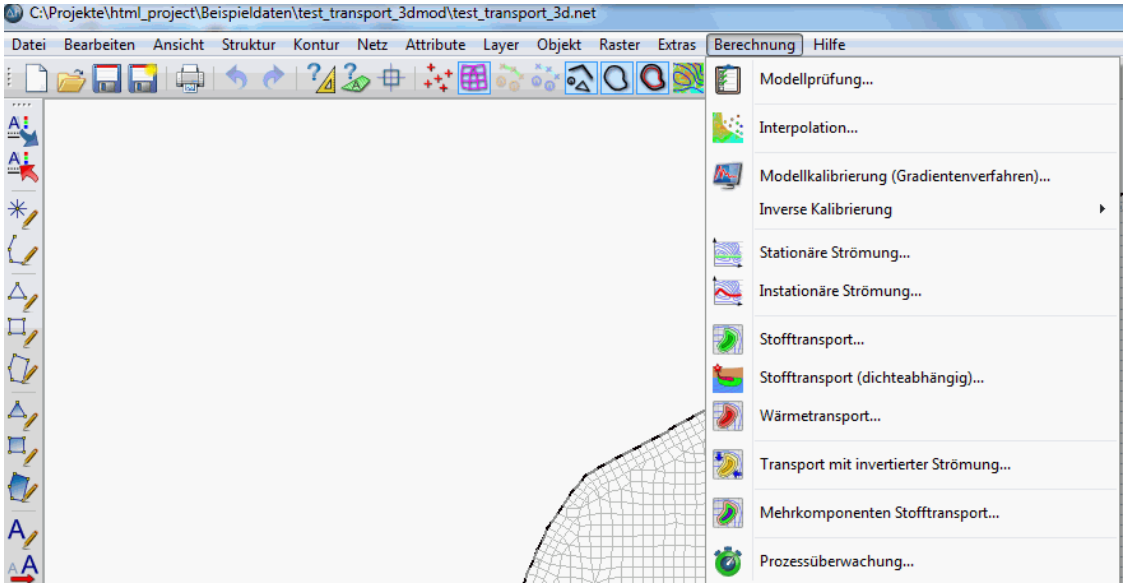


Abb. 80: Vertikalschnitt durch den integrierten Tunnel

4.13 Berechnung

Das Berechnungs-Menü ist sowohl im Modelldateimodus als auch im Modus Plotdatei wählbar. Es ist in beiden Modi identisch. Folgende Menü-Punkte stehen zur Verfügung:



Aufgrund der Komplexität der einzelnen Berechnungsmodule werden diese kapitelweise beschrieben.

Mehrkomponenten Stofftransport

Dieses Berechnungsmodul ist derzeit in der Entwicklung.

Prozessüberwachung

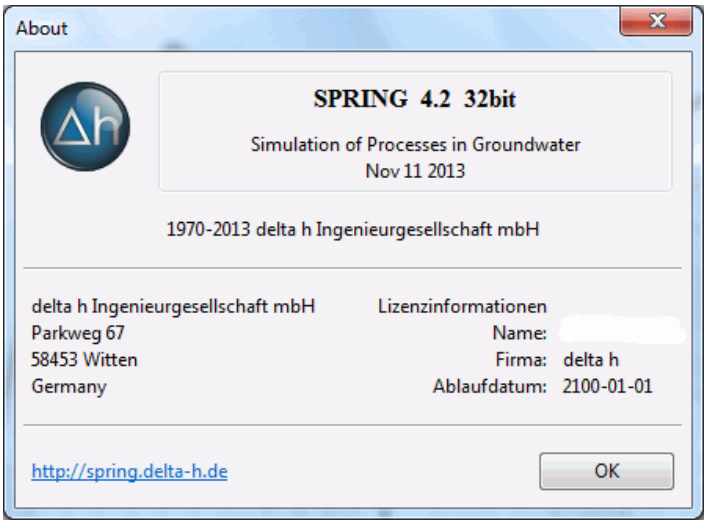
Während einer instationären Berechnung ist es möglich, den zeitlichen Verlauf der berechneten Ergebnisse live nachzuverfolgen durch Starten des SPRING Process Observers. eine detaillierte Anwendung dieses Tools findet sich im Kapitel: "Instationäre Strömung - Beobachtung der Berechnungsergebnisse während der instationären Berechnung" (S. 297).

4.14 Hilfe

Das Hilfe-Menü ist sowohl im Modus Modelldatei als auch im Modus Plotdatei wählbar. Es ist in beiden Modi identisch. Folgende Menü-Punkte stehen zur Verfügung:

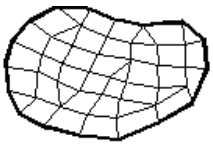
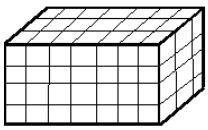
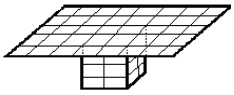
Bei Aufruf des Menüpunktes *Handbuch…* wird das in SPRING integrierte Handbuch geöffnet, die Menüpunkte *Tutorial…* und *Verifikation…* verlinken auf die Internetseite von delta h. Bei Auswahl des Menüpunktes *Nach Updates suchen…* wird überprüft, ob eine neuere Programmversion von SPRING verfügbar ist.

Wird der Menüpunkt *Über…* aufgerufen, erscheint die aktuelle Programmversion sowie die Lizenzvereinbarung der delta h Ingenieurgesellschaft:



5 Aufbau der einzelnen Modellarten

In den folgenden Kapiteln wird beschrieben, wie die einzelnen Modelle aufgebaut werden und welche Daten erforderlich sind. Anhand von praktischen Beispielen werden die Vorgehensweisen verdeutlicht.

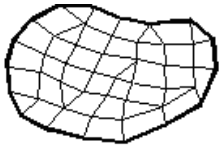
 2D-Horizontalmodell	 3D-Modell	 2D/3D-Modell	Vertikalmodell

Es ist empfehlenswert, sich vorab mit der generellen Vorgehensweise eines Modellaufbaus (Kapitel „Von der Natur zum Modell" auf S. **10**), mit der "SPRING-Benutzeroberfläche" auf S. **15** sowie den "Daten- und Datei-Strukturen" auf S. **27** von SPRING vertraut zu machen.

Das folgende Kapitel ermöglicht es dem Anwender, Schritt für Schritt ein horizontales Grundwassermodell aufzubauen.

Bevor Sie jedoch damit beginnen, sollten Sie sich die benötigten Beispieldateien von unserer Homepage http://spring.delta-h.de im Bereich Download&Support herunter laden. Diese sind in der zip-Datei unter: Tutorial (DE): „Tutorial_bsp_files/Tutorial_2d_bsp_files“ ( ) zu finden.

5.1 Aufbau eines 2D-Modells



Die zentrale Datei in SPRING ist die ASCII-Modelldatei *name.net.* In der Datei *name.net* befinden sich alle Informationen für ein 2D-Modell. Diese Datei wird in der Regel mit SPRING interaktiv erstellt bzw. verändert. Sie ist aber auch mit einem beliebigen Editor zu bearbeiten.

Während der *Modellprüfung* (S. **241**) werden die Modelldaten eingelesen und in binäre Hintergrunddateien geschrieben. Die nachfolgenden Berechnungsmodule lesen die für sie erforderlichen Daten aus diesen Hintergrunddateien und speichern ihre Ergebnisse ebenfalls dort ab. Zur grafischen Darstellung der Eingabe- oder Ergebnisdaten (*Ploterstellung,* S. **357**) werden die Daten aus den Hintergrunddateien gelesen und der entsprechende Plot erstellt. Danach können die Plots mit SPRING wiederum dargestellt, nachbearbeitet und auf einem Plotter oder Drucker ausgegeben werden.

Die SPRING-Oberfläche dient zur Modellerstellung, Strömungsberechnung und Ploterstellung und wird über einen Doppelklick mit der linken Maustaste auf das Icon auf dem Desktop geöffnet.

5.1.1 Schritt 1: Erstellen eines regelmäßigen FE-Netzes durch automatische Netzgenerierung

Zum Aufbau eines Grundwassermodells ist zuerst die Erstellung des Finite-Element-Netzes erforderlich. Dazu wird das Modul SPRING mit einem Doppelklick gestartet. Über *Datei → Neu* erscheint das folgende Fenster zur Erstellung eines neuen Projekts. Hier lassen sich grundlegende Daten (Art des Modells, Zeiteinheit, Maßstab, Ausdehnung in x-y-Richtung) vorgeben. Im Beispiel wird der Maßstab auf 1:10.000 gesetzt und die Y-Koordinate auf Y = 80 m.

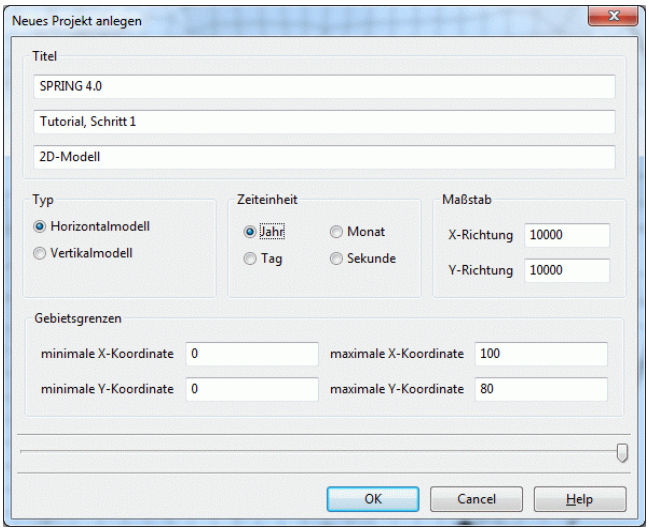


Abb. 81: Neues Projekt anlegen

Nach Schließen des Fensters mit OK gelangt man zurück in die Oberfläche des SPRING-Moduls. Damit sind die grundlegenden Informationen vor dem Erstellen des Finite-Element-Netzes (FE-Netz) eingegeben. Nun werden über den Menüpunkt *Netz →Netzgenerierung → Regelmäßiges Netz* in einem weiteren Dialog die Abmessungen für das zu erstellende FE-Netz eingegeben:

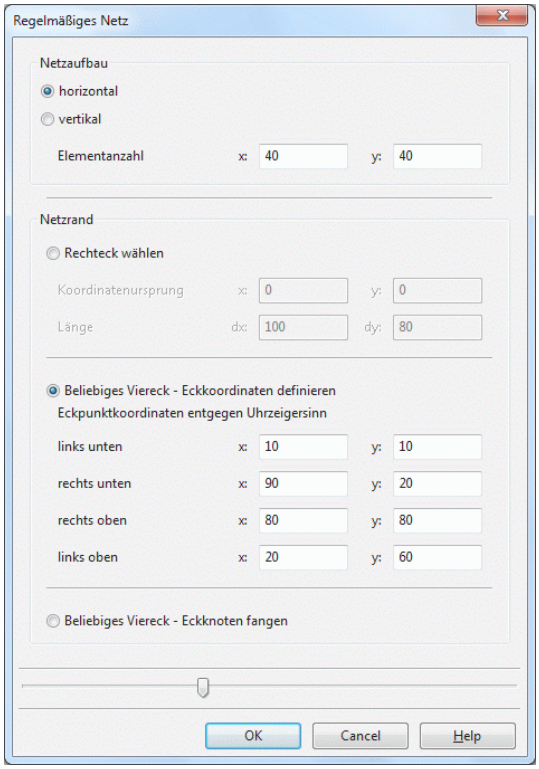


Abb. 82: Generierung eines regelmäßigen Netzes

In diesem Dialog muss zunächst die Elementanzahl in x- und y-Richtung und die Richtung (horizontal oder vertikal) festgelegt werden.

Des Weiteren kann der Netzrand auf drei unterschiedliche Arten festgelegt werden:

- Rechteck wählen:

Hier ist der Koordinatenursprung sowie die Längen in x- und y-Richtung vorzugeben. Es ist darauf zu achten, dass der gewählte Ursprung und die Abmessungen innerhalb der beim Anlegen des Modells gewählten Gebietsgrenzen liegen.

- Beliebiges Viereck – Eckkoordinaten definieren:

Bei dieser Methode sind die vier Eckpunktkoordinaten festzulegen. Es ist darauf zu achten, dass der gewählte Ursprung und die Abmessungen innerhalb der beim Anlegen des Modells gewählten Gebietsgrenzen liegen.

- Beliebiges Viereck – Eckkoordinaten fangen:

Hier können die Eckkoordinaten des FE-Netzes interaktiv in der Benutzeroberfläche durch Auswahl mit der linken Maustaste gewählt werden. Die Eckkoordinaten sind gegen den Uhrzeigersinn festzulegen. Diese Funktion ist zurzeit noch nicht implementiert.

Bei Übernahme dieser Einstellungen durch Drücken des OK-Buttons und anschließendem Klick auf die rechte Maustaste wird das generierte FE-Netz dargestellt.

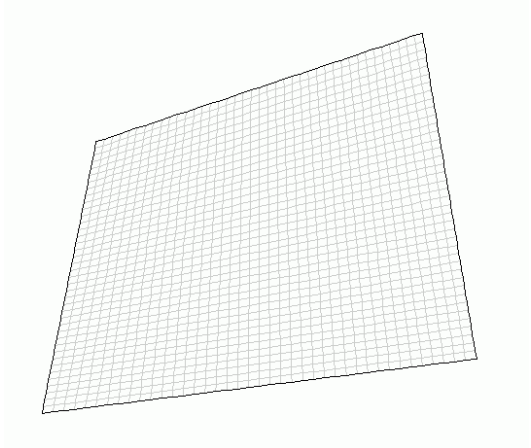


Abb. 83: Automatisch generiertes FE-Netz

Es wird empfohlen, während der Modellerstellung ab und zu den Zwischenstand abzuspeichern: Beim ersten Mal erhält das Projekt unter *Datei → Speichern unter* ... einen eigenen Namen. Im weiteren Verlauf des Projekts genügt es, das Projekt zu speichern. Nun würde die Datenzuweisung (S. 201) erfolgen, aber da die automatische Netzgenerierung für die meisten Problemstellungen nicht ausreicht, folgt Schritt 2: Erstellung eines FE-Netzes mit unregelmäßigen Zwangsgeometrien (S. 191).

5.1.2 Schritt 2: Erstellung eines FE-Netzes mit unregelmäßigen Zwangsgeometrien

5.1.2.1 Beschreibung des Untersuchungsgebiets

Das Untersuchungsgebiet des zu erstellenden Modells sieht folgendermaßen aus:

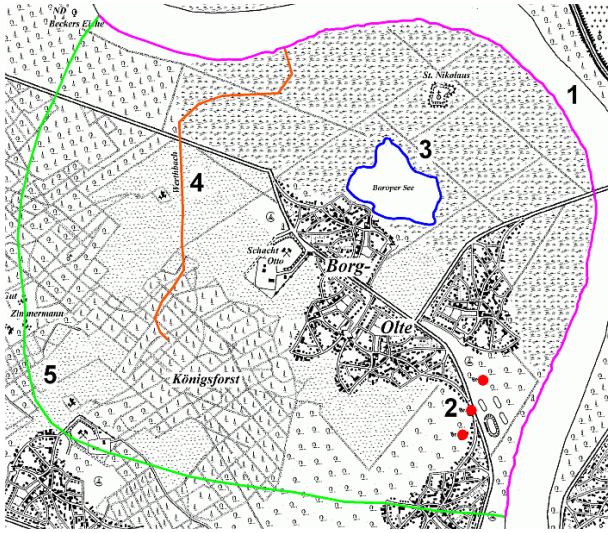


Abb. 84: Untersuchungsgebiet

Die georeferenzierte Tiff-Datei „topo1.zip“ sowie alle weiteren benötigten Dateien stehen auf unserer Homepage: http://spring.delta-h.de unter Download&Support: Tutorial (DE) "Tutorial_bsp_files.zip" ( ) zum Download bereit.

Das Untersuchungsgebiet lässt sich wie folgt beschreiben:

Von Südosten nach Nordwesten erstreckt sich ein großes Hauptgewässer (pink), in das ein kleinerer Bachlauf (orange) einmündet. Des Weiteren befindet sich ein See (blau) mit Grundwasserkontakt im Untersuchungsgebiet. Hinzu kommen drei Grundwasser fördernde Entnahmebrunnen (rot) im Südosten. Da diese Zwangspunkte Einfluss auf die örtliche Grundwassersituation haben, müssen sie im Modellgebiet berücksichtigt werden.

5.1.2.2 Fragestellungen an ein Grundwassermodell

Ein Grundwassermodell wird erstellt, wenn verschiedenste Einflüsse die Grundwassersituation beeinflussen bzw. komplexe Randbedingungen vorhanden sind und eine analytische Lösung des Problems nicht mehr möglich ist.

Mögliche Fragestellungen für ein Grundwassermodell sind z.B.:

- Wie verhält sich die Grundwasserströmung bei Veränderung der Entnahmemengen?
- Welche Flurabstände liegen vor?
- Welche Auswirkungen haben Bergsenkungen auf die vorhandenen Flurabstände?
- Welche Folgen hat eine Hochwasserwelle und wie verändern sich die Überschwemmungsflächen?
- Welchen Einfluss haben Eingriffe in Gewässer (Bachverlegung, Veränderungen an der Bachsohle)?
- Was passiert beim Bau von neuen Förderbrunnen und wie ist deren Einfluss auf die bestehende Situation?
- etc. etc. etc.

Diese und viele andere Fragestellungen lassen sich mit einem Grundwassermodell beantworten.

5.1.2.3 Datenbeschaffung

Als Datengrundlage werden diese Parameter für die folgende Bearbeitung benötigt:

Hauptgewässer: Wasserstände in m (meistens m NN) an mindestens zwei Punkten: Festpotentialrand → POTE

Nebengewässer: Wasserstand im Oberlauf (m), evtl. Abflussmessungen für die Leakagebestimmung → VORF und LERA

Entnahmebrunnen: Entnahmemengen → KNOT(neg. Vorzeichen, umrechnen in m³/Zeiteinheit der Modelldatei)

Grundwasserneubildung: Niederschlag, Bodentyp, Bodennutzung, Gefälle zur Berechnung der Neubildung → FLAE(mm/Zeiteinheit der Modelldatei)

Geologie: Durchlässigkeitswerte in m/s → KWER

Geländeoberfläche: → GELA, und evtl. Daten über eine undurchlässige Schicht im Untergrund → UNTE, sonst Berechnung mit einer

Mächtigkeit: →MAEC

Grundwassermesswerte zur Erstellung eines Kalibrierzustands: Grundwasseroberfläche → EICH

Anmerkung: Die Zeiteinheit der Modelldatei wird beim Anlegen eines neuen Projekts (*Datei → Neu*) festgelegt.

Folgende Quellen können diese Daten liefern:

- Geländehöhen und Tiff-Dateien: Landesvermessungsamt, Katasteramt
- Grundwassermessstellen, Pegelwerte an Vorflutern: Staatliches Umweltamt, Wasserverbände, Wasserwerke, etc.
- Entnahmen: Brunnenbetreiber
- Geologie: Geologische Karten, Aufschlussbohrungen, Pumpversuche
- Leakage: z.B. Berechnung über K-Werte der Umgebung und Abflussmessungen
- Neubildung: z.B. auf Grundlage von RVR-Daten, nach Schroeder und Wyrwich oder Meßer

5.1.2.4 Festlegen der Modellgrenzen

Bevor ein neues Projekt angelegt werden kann, muss grob die Gebietsgrenze des FE-Modells ermittelt werden. Hierzu müssen zunächst die Modellränder festgelegt werden. Im westlichen und südlichen Untersuchungsgebiet liegt eine Wasserscheide vor, d.h. hier kann als Begrenzung des Modells ein Q=0-Rand definiert werden. Das Hauptgewässer im Norden und Osten wird als weitere Modellgrenze angenommen.

In den folgenden Kapiteln wird das Untersuchungsgebiet schrittweise in einem Grundwassermodell abgebildet.

5.1.2.5 Neues Projekt erstellen

Wie bereits unter Schritt 1 (regelmäßiges Raster) beschrieben, werden für die Erstellung eines neuen Projekts die minimalen und maximalen Koordinaten des Untersuchungsbereichs benötigt. Unter *Datei → Öffnen… → Auswahl des Dateityps Bitmap (*.tif)* öffnen Sie bitte die bereits gespeicherte Datei topo1.tif (Verzeichnis: „…/Tutorial_bsp_files/Tutorial_2D_bsp_files/topo1.tif“).

In der Statusleiste werden die Koordinaten des Mauszeigers angezeigt. Der Darstellungsbereich der Karte kann mit gedrückter mittlerer Maustaste verschoben werden. Durch Drehen des Mausrades kann in die Darstellung hinein bzw. heraus gezoomt werden. Drücken der rechten Maustaste führt zurück in die Totale.

Die Koordinaten für die topographische Karte bzw. dem gewählten Modellrand lassen sich so für die linke untere Ecke der Karte zu x = 800, y = 120 und für die rechte obere Ecke der Karte zu x = 7800, y = 6100 grob ermitteln.

Um wieder in den Modus Modelldatei zu gelangen, wird SPRING erneut geöffnet. Dann werden in dem Dialog *Datei → Neu* die drei Kommentarzeilen und die ermittelten Koordinaten für die Gebietsgrenzen eingetragen:

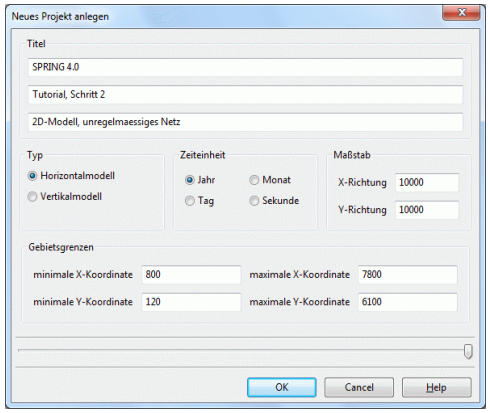


Abb. 85: Koordinaten des neuen Projekts

Nach Bestätigen mit dem OK-Button ist das Projekt angelegt und sollte mit *Datei → Speichern unter…* benannt werden.

5.1.2.6 Strukturen erstellen bzw. importieren

Normalerweise muss der Anwender sich diese Daten selbst über ein Geoinformationssystem einlesen oder am Bildschirm digitalisieren (z.B. unter *Struktur → Neu → Punkte erfassen* auf Grundlage einer Tiff-Datei). In dem Kapitel "SPRING Menüs - Struktur" auf S. **111** sind die Möglichkeiten zum Erstellen und Importieren von Strukturen detailliert beschrieben.

Die Digitalisierung der für dieses Modell notwendigen Strukturen wurde bereits vorgenommen. Die Strukturdaten stehen in dem bereits heruntergeladenen Verzeichnis unter *…/Tutorial_2D_bsp_files/s1_daten1.str* zur Verfügung.

Über Struktur → *Importieren…* → (Dateiauswahl) **.str* kann die Datei "s1_daten1.str" eingelesen werden.

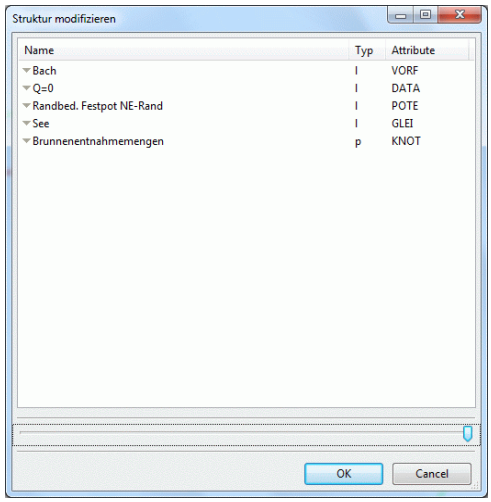


Abb. 86: Importierte Strukturen der Datei s1_daten1.str

Sind noch keine Knoten oder Elemente vorhanden, muss das Projekt gespeichert und erneut geöffnet werden, bevor die Strukturen darstellbar sind.

Nachdem unter *Ansicht → Strukturen → Alle* oder Drücken des entsprechenden Buttons ( ) die Darstellung aktiviert wurde, erscheint folgendes Bild:

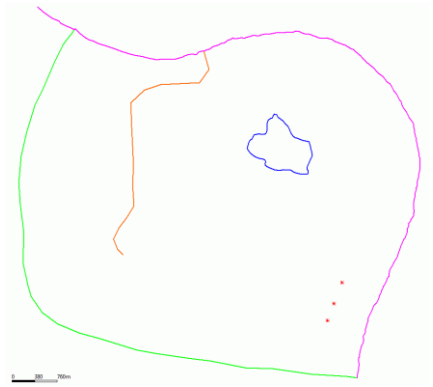


Abb. 87: Vorhandene Strukturdaten

5.1.2.7 Strukturen modifizieren

Einige Strukturen haben bereits Daten, welche durch eine Bearbeitung (z.B. löschen der Strukturpunkte) verloren gehen. Zur Vorbeugung werden daher alle Strukturen kopiert (*Struktur → Kopieren*), die später als Konturen verwendet werden sollen und Strukturpunkte außerhalb des Modellrandes besitzen.

Es empfiehlt sich, die kopierten Strukturen umzubenennen (*Struktur → Bearbeiten*) und z.B. den Zusatz „für Konturen“ beim Info Text zu ergänzen.

Die kopierten Strukturen können nun bearbeitet werden (*Punkte löschen, ergänzen und verschieben*), ohne dass wertvolle Daten verloren gehen.

Über *Struktur → Bearbeiten → Fangen* oder Aktivieren des entsprechenden Buttons in der Symbolleiste ( ) kann die gewünschte Struktur ausgewählt werden. Zunächst wird der nordöstliche Modellrand (pink) ausgewählt. Es öffnet sich folgender Dialog:

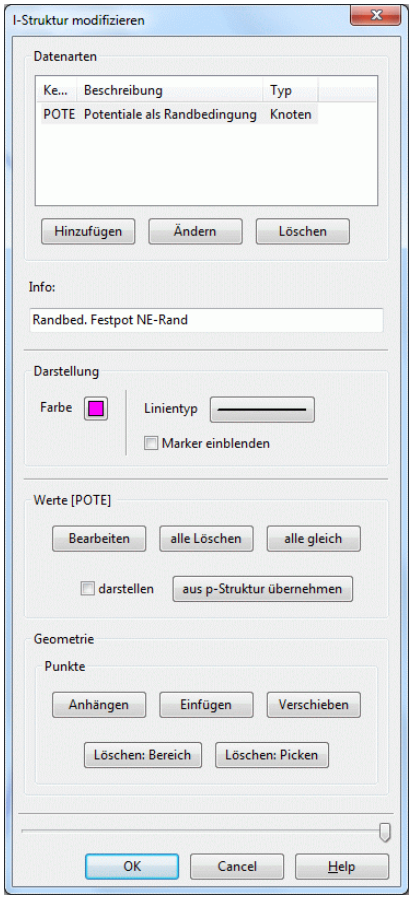


Abb. 88: I-Struktur modifizieren

Nach *Marker einblenden* können über *Punkte: Löschen: Picken* oder *Löschen: Bereich* die überflüssigen Strukturpunkte am westlichen Ende der Struktur beseitigt werden. Erst durch Beenden des Struktur-Menüs mit OK werden die Punkte auch tatsächlich gelöscht!

Zusätzlich sollte überprüft werden, ob die Endpunkte des nordöstlichen und südwestlichen Modellrandes übereinstimmen. Ist dies nicht der Fall, können die Endpunkte aufeinander geschoben werden mit dem Strukturmenü über *Punkte: verschieben*. In dem Auswahlfenster, ob der Punkt "frei" oder auf einen "Punkt" verschoben werden soll, wird hier „Punkt“ gewählt.

Genauso gut lassen sich in diesem Menü Punkte an die vorhandenen Strukturen anhängen oder einfügen. Dies ist bei dem innerhalb des Modells liegenden Bachlaufs (orange) erforderlich. Dieser Struktur sollte ein weiterer Punkt angehängt werden, der auf dem Hauptgewässer liegt. In die Struktur des Hauptgewässers sollte an dieser Stelle dann ein weiterer Punkt eingefügt werden (Punkt fangen).

5.1.2.8 Konturen erzeugen

In den Strukturdaten werden alle Eingabedaten vorgehalten. Nicht alle Strukturdaten sind jedoch automatisch Zwangsgeometrien für das FE-Netz. Z.B. außerhalb des Untersuchungsgebiets liegende Messstellen oder geologische Aufschlüsse stellen keine Zwangsgeometrien dar. Nur die Zwangsgeometrien der Strukturen werden in Konturen übertragen (*Kontur → Neu → Aus Struktur*).

Ein Bearbeiten der Konturen bietet die Grundlage für ein homogenes FE-Netz. Beim Übertragen der Struktur in eine Kontur entsteht an jedem Strukturpunkt ein Konturpunkt an dem wiederum bei der Netzgenerierung ein

Knoten entsteht. Daher ist beim Übertragen der Strukturen in Konturen schon auf die Abstände der Strukturpunkte zu achten.

Im Strukturmenü können die einzelnen Strukturpunkte daher durch *Marker → einblenden* sichtbar gemacht werden.

In den Beispiel-Strukturen ist der Abstand der Strukturpunkte des nordöstlichen Randes teilweise sehr gering. Daher sollen nicht alle Strukturpunkte des nordöstlichen Randes als Konturpunkte übernommen werden.

Über *Kontur → Neu → Aus Struktur* (Fangen bzw. Liste) und dem dann erscheinenden Eingabefenster wird der Abstand der Konturpunkte vergröbert. Der maximal mögliche Abstand zum Ursprungsrand wird auf 5 m gesetzt.

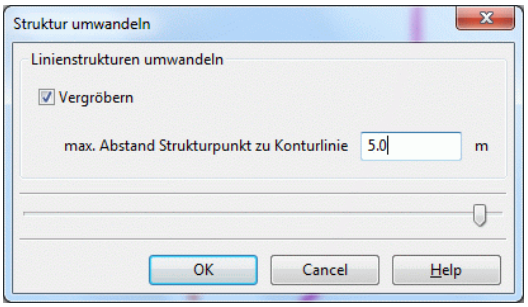


Abb. 89: l-Struktur umwandeln

Um eine regelmäßige Verteilung der Randknoten zu erzeugen, wird über *Kontur → l-Kontur bearbeiten → Maximalen Abstand setzen → Polygon* der Abstand der Konturpunkte auf 300 m gesetzt. Dies entspricht in etwa dem Abstand der Strukturpunkte des südwestlichen Randes.

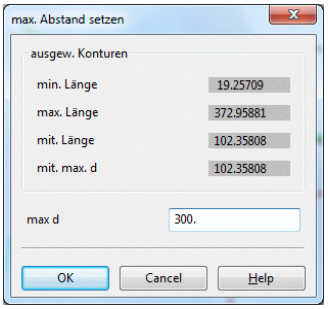


Abb. 90: Maximalen Abstand setzen

Für den See wird die gleiche Vorgehensweise empfohlen, allerdings sollte hier der Abstand der Konturpunkte geringer gewählt werden (ca. 35-50 m), um später eine kleinere Elementkantenlänge zu erhalten.

Die übrigen Strukturen (Bachlauf, Brunnen und der südwestlich Modellrand) werden mit *Kontur → Neu → Aus Struktur → Fangen / Liste…* als Konturen übernommen, ohne dass eine Vergröberung stattfindet. Bei Auswahl von Liste ist es möglich, durch Drücken der STRG-Taste und gleichzeitigem Auswählen der gewünschten Strukturen mehrere Strukturen zeitgleich umzuwandeln.

Am südwestlichen Strukturrand sowie am Bachlauf kann für einzelne Konturelemente der Abstand der Punkte verringert werden. Dies geschieht über *Kontur → l-Kontur bearbeiten → Maximalen Abstand setzen → Fangen*. Nun werden die Konturelemente ausgewählt, die dem Anwender "zu groß" erscheinen. Es erscheint ein Eingabefenster, in dem der gewünschte maximale Abstand eingegeben werden kann.

Am Mündungspunkt des Bachlaufs in den Hauptvorfluter muss die angrenzende Kontur des Hauptvorfluters einmal geteilt werden (*Kontur → l-Kontur bearbeiten → n-mal teilen: 1*), damit der Konturpunkt des Bachlaufs auf dem Teilungspunkt einmünden (*Kontur → Punkte verschieben*) kann.

Das Ergebnis sind die in der folgenden Abbildung dargestellten Konturen:

Abb. 91: Vorhandene Konturen

Zur besseren Abbildung des logarithmischen Absenktrichters um einen Förderbrunnen ist es erforderlich, den Kontur-Punkten der Brunnen entsprechende Brunnenparameter zuzuweisen. Dies beugt Oszillationen vor, die durch die punktuelle Potentialveränderung in Brunnennähe hervorgerufen werden. Nach *Kontur → p-Kontur bearbeiten → Brunnenparameter → Fangen* und Anklicken der drei Punkte erscheint folgendes Eingabefenster:

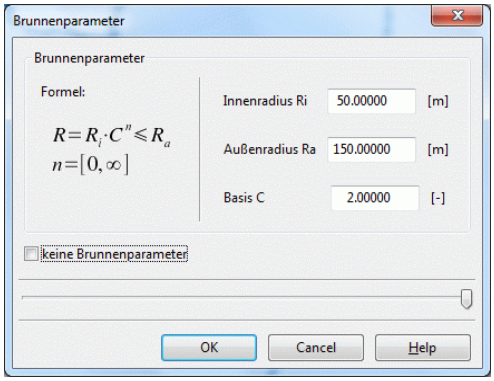


Abb. 92: Brunnenparameter setzen

Eine genaue Beschreibung der Parameter findet sich im Kapitel “Datenstruktur des Grundwassermodells: Ortsdiskretisierung: Sonderfall Brunnendiskretisierung“ auf S. **74**.

Vor der Knotenerzeugung muss kontrolliert werden, ob der Konturrand geschlossen ist und die Abstände einzelner Konturpunkte nicht zu klein sind. Dies erfolgt über *Kontur → Optimieren*. Die Einstellung der Genauigkeitsparameter wird mit "OK" bestätigt. Ist die Prüfung fehlerfrei, erscheint eine Meldung mit dem Kommentar "Konturrand geschlossen". Treten Fehler auf, werden diese angezeigt und müssen durch Veränderung der Genauigkeitsparameter beseitigt werden.

Anmerkung: Auch für die Konturen gilt: bei erneutem Öffnen des Projektes müssen die Konturen über *Ansicht → Konturen* oder über den entsprechenden Button ( ) dargestellt werden.

5.1.2.9 Knoten erzeugen

Bei der Knotenerzeugung werden zunächst Knoten auf und im Bereich der Konturen erzeugt mit *Netz → Netzgenerierung → Randknoten generieren → Global….* Die Anzahl der Durchgänge legt fest, wie viel Knotenreihen parallel zu den Konturen erzeugt werden sollen. Empfehlenswert sind 2-3 Durchgänge. Gewählt wird im Beispiel: 3 Durchgänge.

Anschließend werden die konturfreien Bereiche mit Rasterknoten belegt über *Netz → Netzgenerierung → Raster generieren → Global….*Der ungefähre Knotenabstand wird im folgenden Eingabefenster festgelegt:

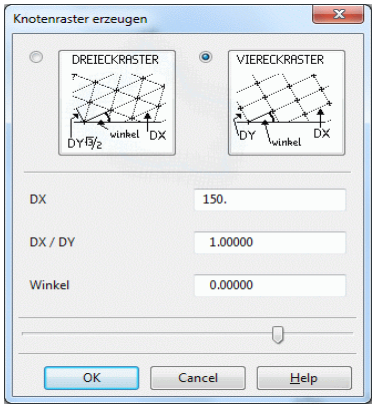


Abb. 93: Rasterknotengenerator

Im Feld *DX* erscheint als Vorbelegung der durchschnittliche Knotenabstand bereits erzeugter Knoten, dieser kann vom Anwender modifiziert werden. Im Beispiel wird DX = 150.0 m gesetzt. Danach erscheint das generierte Knotenraster.

Nun wird kontrolliert, ob die Lage der einzelnen Knoten ein homogenes Bild ergibt. An Fehlstellen können Knoten hinzugefügt werden (*Netz → Netzgenerierung → Knoten einfügen*), zu viele Knoten können gelöscht

werden (*Netz → Knoten → Löschen*) oder Knoten ab einem definierten Abstand werden zusammengelegt über *Netz → Knoten → Zusammenlegen → Nach Abstand*….

An dieser Stelle können Sie mit den genannten Funktionen experimentieren und diese testen.

Hinweis: Zum Zoomen wird die aktuelle Funktion (z.B. "Knoten einfügen") mit der rechten Maustaste beendet. Mit der linken Maustaste wird der gewünschte Zoom-Bereich aufgezogen. Mit der Taste F12 kann dann die aktuelle Funktion wieder aufgerufen werden. (Dieses neue Feature gilt für alle Bearbeitungsfunktionen!)

5.1.2.10 Elemente erzeugen

Die automatische Erzeugung der Elemente erfolgt durch *Netz → Netzgenerierung → Elemente erzeugen → Drei- und Vierecke (global)*. Mit *Netz → Entspannen* wird das Netz z.B. zwanzig Mal entspannt, um optimale Winkel zwischen den Elementseiten zu erhalten.

Anschließend werden über *Netz → Elemente → Löschen → Bereich* die Elemente im Inneren des Sees gelöscht, da der See in diesem Modell als innerer Rand behandelt wird. Zu guter Letzt werden noch die Knoten gelöscht über *Netz → Knoten → Löschen → Ohne Element und Klüfte*.

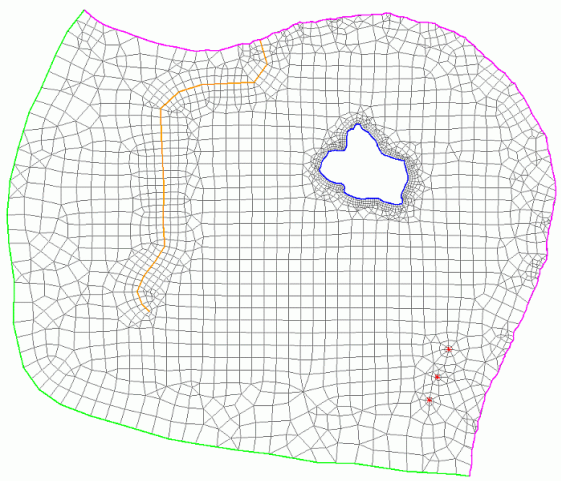


Abb. 94: Fertiges FE-Netz

Im obigen Bild wurden zur besseren Übersicht die Knoten und Konturen ausgeblendet (*Ansicht → Knoten* bzw. *Konturen* oder Drücken der entsprechenden Buttons in der Symbolleiste).

Die Marker an den Strukturen wurden ausgeblendet mit *Struktur → Bearbeiten → Fangen* und anschließendem Deaktivieren der Checkbox *Marker einblenden.*

Als letzten Schritt in der Netzerstellung werden Netzkontrollen (*Netz → Kontrollen)* durchgeführt und die eventuell auftretenden Fehler beseitigt, bevor mit Schritt 3: Datenzuweisung begonnen wird!

Die fertige Modell- und Struktur-Datei „schritt2_netz.net“ steht auf unserer Homepage zum Download bereit bzw. wurde schon geladen (…/Tutorial_bsp_files/Tutorial_2D_bsp_files/schritt2_tutorial.zip). Sie kann für die weitere Bearbeitung verwendet werden.

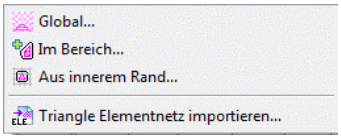
5.1.2.11 Nutzung des externen Netzgenerators TRIANGLE

Es besteht auch die Möglichkeit, mit dem externen Netzgenerator Triangle ein Netz zu generieren. Der Vorteil dieses Netzgenerators liegt darin, dass der Benutzer z.B. die minimale Fläche oder den minimalen Winkel eines Dreieckelements vorgeben kann, um Formfaktoren für die Elementgüte direkt einzuhalten (Verhältnis Innenkreis zu Außenkreis).

Das Programm Triangle muss zuvor auf dem Rechner installiert werden (http://www.cs.cmu.edu/~quake/triangle.html).

Da Triangle nicht direkt in SPRING eingebunden ist, muss SPRING zunächst Eingabedateien für Triangle erzeugen und dieses dann als externes Programm starten. Die von Triangle erzeugte Ausgabe wird wiederum von SPRING eingelesen. Dabei werden die vorhandenen Netzinformationen überschrieben.

Unter dem Menüpunkt *Netz → Netzgenerierung → Netzgenerator Triangle* öffnet sich ein weiteres Menü:



Nach Auswahl einer der drei ersten Menüpunkte (*Netzerstellung → Global…, Im Bereich… oder Aus innerem Rand…*) öffnet sich der zugehörige Dialog:

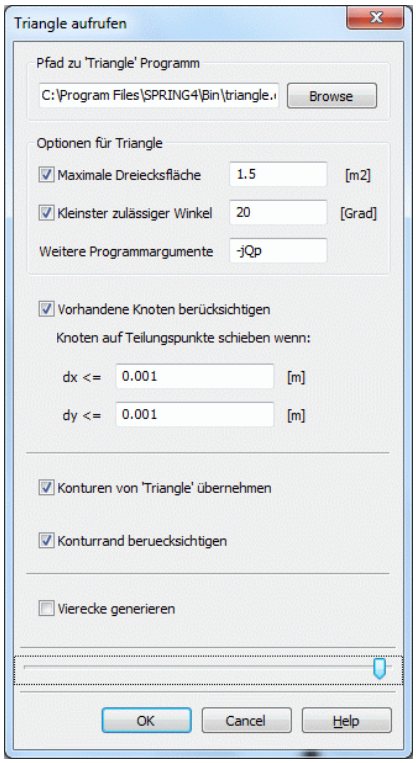


Abb. 95: Dialog für Netzgenerator Triangle

"Pfad zum Programm Triangle":

Hier wird der Pfad ausgewählt, unter dem Triangle installiert ist.

Anmerkung: Bei den Betriebssystemen Windows Vista oder Windows 7 darf die Datei „triangle.exe“ NICHT im Ordner C:\Programme\SPRING4\bin stehen, da dort keine Schreibrechte vorhanden sind.

"Größtes Dreieckselement": (Triangle Option “-a”**)**

Diese Option veranlasst Triangle, zusätzliche Knoten zu generieren, so dass keine Dreiecke entstehen, deren Flächeninhalt größer als der angegebene Wert ist.

"Kleinster Winkel im Dreieck": (Triangle Option “-q”**)**

Diese Option veranlasst Triangle, zusätzliche Knoten zu generieren, so dass keine Winkel unter dem angegebenen Wert entstehen. Der Standardwert liegt bei 20°. Diese Vorgabe erzeugt qualitativ hochwertige Netze, kann aber zur Folge haben, dass Triangle nicht korrekt beendet wird.

"Zusätzliche Programmargumente": (Alle Triangle Options **)**

Triangle bietet noch zahlreiche weitere Möglichkeiten, die Netzgenerierung zu beeinflussen. Näheres dazu findet sich auf der Internetseite http://www.cs.cmu.edu/~quake/triangle.switch.html. Die entsprechenden Parameter für den Triangle-Aufruf lassen sich hier eingeben.

"Berücksichtigung vorhandener Knoten":

Hiermit werden die vorhandenen Knoten als zusätzliche Zwangsgeometrien in die Eingabedatei von Triangle geschrieben. So kann zunächst mit dem Rastergenerator von SPRING ein Knotenraster erstellt werden, das anschließend von Triangle vermascht wird.

"Konturen von Triangle übernehmen" und „Konturrand berücksichtigen“:

Wenn Triangle zusätzliche Knoten erzeugt um bspw. das Winkelkriterium zu erfüllen, werden diese neuen Punkte auch auf den darunter liegenden Zwangsgeometrien (Konturen) erzeugt. Durch die Option "Konturen von Triangle übernehmen" liest SPRING nach einem erfolgreichen Triangle Lauf nicht nur die Netzgeometrie ein, sondern überschreibt auch die bestehenden Konturen mit den von Triangle modifizierten.

"Vierecke generieren":

Hiermit wird nach einem Triangle-Lauf der Viereckgenerator von SPRING gestartet.

Mithilfe des Menüpunkts "Triangle Elementnetz importieren" kann ein mit dem externen Netzgenerator Triangle erstelltes Elementnetz (*.ele) importiert werden.

5.1.2.12 Einbau einer neuen Struktur in ein bestehendes Modell

In diesem Kapitel wird dem Anwender ein Konzept für den nachträglichen Einbau einer neuen Struktur in ein bereits bestehendes Netz vorgestellt.

Bevor mit der nachträglichen Bearbeitung der Netzgeometrie begonnen wird, ist es ratsam, Kopien der ursprünglichen Netz- und Strukturdatei zu erstellen. Sämtliche Attributdaten, die durch Löschen eines Elementbereichs beeinflusst werden, sollten über: *Attribute → Exportieren…* gespeichert werden. Es erscheint eine Auflistung aller vorhandenen Attributdaten. Durch Auswahl der einzelnen Attribute lassen sich diese als eigenständige Dateien im Strukturdateiformat speichern, um sie später wieder auf das veränderte Netz zuweisen (interpolieren) zu können.

Achtung! Im 3D-Modell nicht die Daten der 3D-Datei vergessen!

Nach den Vorarbeiten beginnt nun der schrittweise Umbau der Modelldatei:

Elemente im Bereich der neuen Struktur weiträumig löschen

Zunächst werden die Knoten bzw. Elemente im Bereich der neuen Struktur weiträumig über *Netz → Knoten bzw. Elemente → Löschen → Bereich* gelöscht.

Erzeugen der neuen Struktur:

Struktur → Neu → Linienzug (beim Vorfluter oder Spundwand)

Zur Abbildung einer Spundwand ist es möglich, eine identische zweite Struktur parallel zur ersten Struktur automatisch zu erzeugen. Der Abstand beider Strukturen ist frei wählbar. Dazu wird unter dem Menüpunkt: *Struktur → Parallele erzeugen → Fangen/Liste* die Struktur gewählt und mit der linken Maustaste die Seite bestimmt, an der die Parallele erzeugt werden soll (bei Flächenstrukturen innerhalb oder außerhalb anklicken). Dann erscheint ein Eingabefenster, in dem man den gewünschten Abstand eingibt:

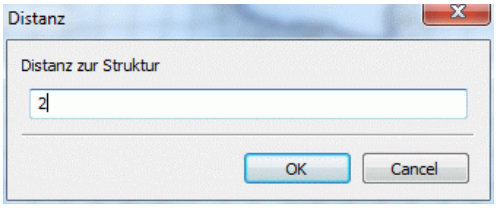


Abb. 96: Distanz der Parallele zur Struktur (m)

Damit die Parallele sichtbar wird, wurde hier eine Distanz von 20 m eingegeben.

Nach Bestätigen mit der rechten Maustaste erscheint die Struktur im Netz.

Übernehmen der neuen Struktur als Kontur

Kontur → Neu → Aus Struktur → Fangen

Das folgende Bild zeigt im Modellausschnitt die neue Struktur mit ihrer Parallelen:

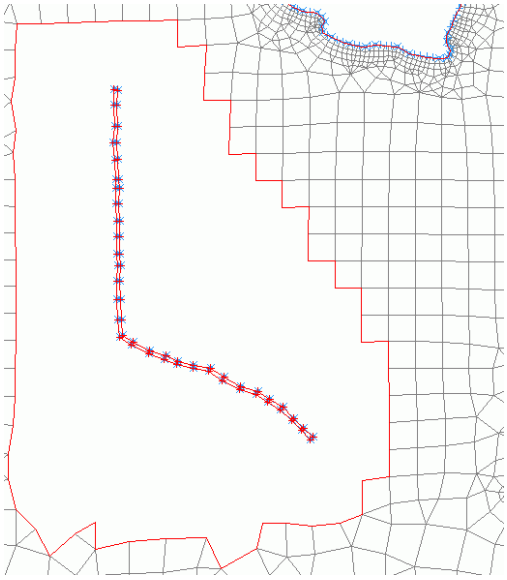


Abb. 97: Modell mit neuer Struktur und bereits zugewiesener Kontur (blau)

Neue Netzknoten erstellen:

Netz → Netzgenerierung → Raster generieren → Bereich: *Netzknoten fangen*. Hier ist es wichtig, alle Knoten des bestehenden Randes zu fangen! Der Knotenabstand dx sollte ungefähr der vorhandenen Seitenlänge der Elemente entsprechen (im Beispiel dx = 120.0 m). Für eine saubere Elementvernetzung werden einige Knoten manuell eingefügt.

Anmerkung: Wenn ein geschlossener Konturrand vorhanden ist, können nur innerhalb dieses Konturrandes Knoten generiert werden.

Beispiel: Ein Bereich in einem bestehenden Modell wird gelöscht, um z.B. ein neues Bauwerk einzubauen. Für dieses Bauwerk wird eine geschlossene Kontur angelegt. In dem Moment ist es nur möglich, innerhalb der Bauwerks-Kontur Knoten zu erzeugen. Erst wenn diese Kontur gelöscht wird, lassen sich auch außerhalb des Bauwerks wieder Knoten erzeugen.

Neue Elemente erzeugen:

Netz → Netzgenerierung → Elemente erzeugen → Dreiecke und Vierecke aus innerem Rand: Der Bereich, in dem neue Elemente erzeugt werden sollen, kann durch einen einzigen Mausklick sofort ausgewählt werden.

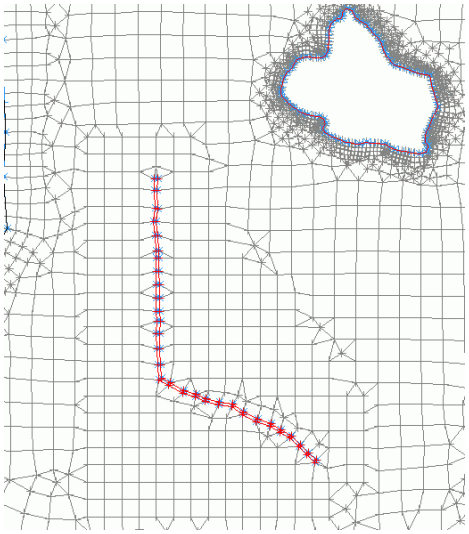


Abb. 98: Neue Knoten und Elemente im Bereich der neuen Struktur

Nach Fertigstellen des Netzes müssen Geometriekontrollen durchgeführt und die Daten gespeichert werden!

Da im Bereich der neu generierten Elemente Lücken in der Datenbank entstanden sind, müssen die fehlenden Daten durch Neuzuweisung der Attribute ergänzt werden (*Attribute → Zuweisen → Durch Interpolation...*).

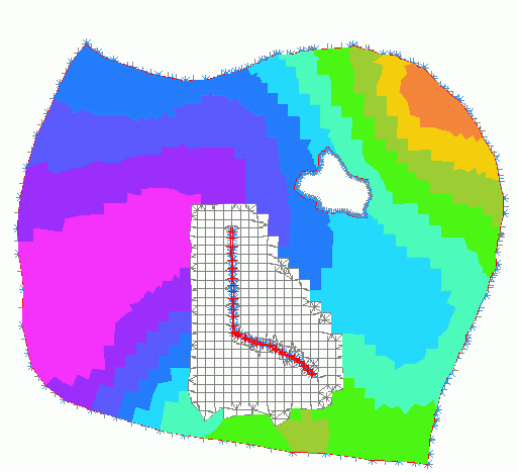


Abb. 99: Fehlende Daten im Bereich der neuen Elemente am Beispiel des Attributs "UNTE"

Bei großen Datenmengen ist es erforderlich, vor der neuen Zuweisung die abgespeicherten Attributdateien auf den betroffenen Bereich zu reduzieren. Dies geschieht über *Struktur → Importieren → z.B. *.txt*, Zuordnen der Spalten und Attributkennung, dann *Struktur → Bearbeiten → Punkte löschen: im Bereich*. Durch Wahl des Buttons "Auswahl umkehren" beim Fangmodus reicht es, den zuzuweisenden Bereich auszuwählen, der Rest wird gelöscht.

Bei der Frage nach dem Interpolationsalgorithmus sollte möglichst "Gauß" gewählt werden, sowie "vorhandene Daten berücksichtigen" und "Daten mit kl. Abstand filtern".

Anmerkung:

Wenn sich durch eine lokale Netzveränderung der Wert nur weniger Knoten verändert hat, empfiehlt sich Folgendes:

Sofern die vorhandenen Knotendaten der nicht veränderten Knoten zur Interpolation genügen, ist eine Interpolation ohne ASCII-Datei und ohne zusätzliche Daten aus Strukturen nur mit "Berücksichtigung vorhandener Daten" im Allgemeinen ausreichend. Hierbei ist bei Knotendaten auch bei einer großen Knotenzahl die Verwendung des Gaußalgorithmus geeignet, da vor der Interpolation alle vorhandenen Knotendaten, die nicht in Nachbarschaft zu den zu interpolierenden Knoten liegen, aus den Interpolationspunkten gestrichen werden.

Wenn durch lokale Netzveränderungen Elementdaten (z. B. Neubildungsraten oder Durchlässigkeiten), die bereichsweise konstant sind, nachbelegt werden müssen, ist folgendes Vorgehen empfehlenswert:

Die Werte können ohne Verwendung weiterer ASCII-Dateien und ohne zusätzliche Daten aus Strukturen nur mit "Berücksichtigung der vorhandener Daten" interpoliert werden. Mit der Abstandswichtung, der Einstellung eines sehr großen Suchradius und Setzen der Anzahl der minimalen und maximalen Interpolationspunkte = 1 (genau ein Interpolationspunkt), kann erreicht werden, dass die entsprechenden Elemente den Wert erhalten, den das ihnen am nächsten liegende mit Daten belegte Element hat.

5.1.3 Schritt 3: Datenzuweisung

Im Kapitel „Datenstruktur des Grundwassermodells – Beschreibung der Datenarten“ auf S. **41** sind die Attribute eines SPRING-Grundwassermodells beschrieben. Um eine Strömungsberechnung zu starten, sind mindestens folgende Daten erforderlich:

- Durchlässigkeitswerte für alle Elemente: Kennung KWER [z.B. 0.0001 m/s]
- Mächtigkeiten für alle Elemente: Kennung MAEC [z.B. 10 m]
- Potentialrandbedingung an mind. 2 Knoten (Potentialgefälle): Kennung POTE [z.B. 5-1 m NN]

5.1.3.1 Direkte Zuweisung vorhandener Strukturdaten

Nach der Fertigstellung des FE-Netzes erfolgt die Zuweisung der notwendigen Modelldaten. Dazu gehören z.B. Fest-Potentiale als Randbedingung der 1. Art (POTE), Vorflutpotentialhöhen und Leakagekoeffizienten an Bachläufen (VORF und LERA), Grundwasserneubildungsraten (FLAE), Durchlässigkeitswerte (KWER), Brunnenentnahmen (KNOT) oder Bereiche mit gleichem Potential (GLEI).

Zu beachten ist, dass Daten, die im ganzen Modellgebiet erforderlich sind, wie z.B. Durchlässigkeitswerte, Unterflächen oder Geländehöhen, durch Interpolation zugewiesen werden müssen, damit alle Elemente oder Knoten vollständig belegt sind.

Daten, die nur punktuell oder linienförmig benötigt werden, wie z.B. Leakagekoeffizienten, Brunnenentnahmen oder feste Potentiale am Modellrand, können direkt zugewiesen werden.

In der bestehenden Strukturdatendatei *schritt2_netz.str* sind die Datenarten POTE, VORF, KNOT und GLEI vorhanden, die auf folgende Weise zugewiesen werden:

Über *Struktur → Zuweisen → Liste...* oder *Attribute → Zuweisen → Aus Struktur…→ Liste...* erscheint der Dialog:

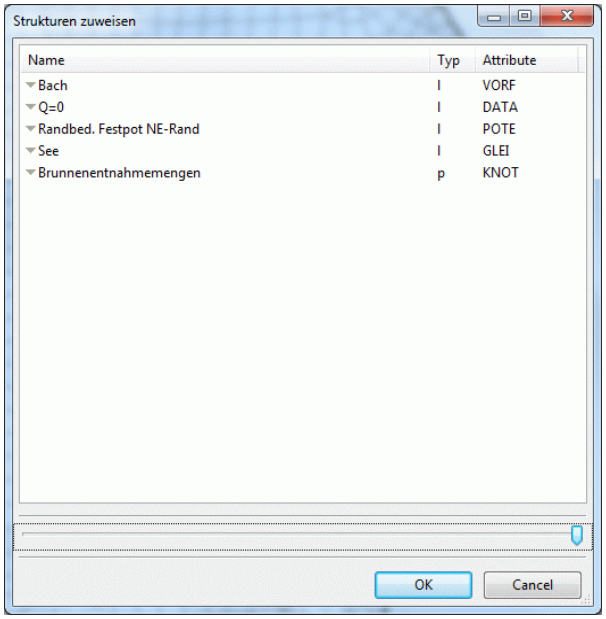


Abb. 100: Strukturdaten zuweisen

Wenn alle Strukturen mit der linken Maustaste und Drücken der SHIFT-Taste ausgewählt und der Dialog mit "OK" bestätigt werden, erscheint ein weiteres Dialogfenster, in dem die Genauigkeitsparameter der Zuweisung definiert werden können. (**Anmerkung**: Datenart DATA wird beim Zuweisen immer ignoriert.)

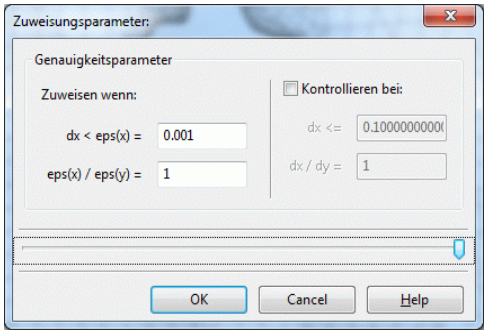


Abb. 101: Zuweisungsparameter

Ohne weitere Eingaben werden die Daten nach Drücken des OK-Buttons zugewiesen. Mit dem Menüpunkt *Attribute → Knoten bearbeiten → Fangen* können einzelne Knoten angeklickt werden, für die am nordöstlichen Rand das Attribut POTE, an den Knoten des Bachlaufes das Attribut VORF, an den Knoten des Sees das Attribut GLEI und an den drei Brunnen das Attribut KNOT erscheint.

Durch Darstellung der Potentiale unter *Ansicht → Attribute darstellen → Isolinien/Flächenplots/Werte...* mit der Darstellungsart "Kreise",

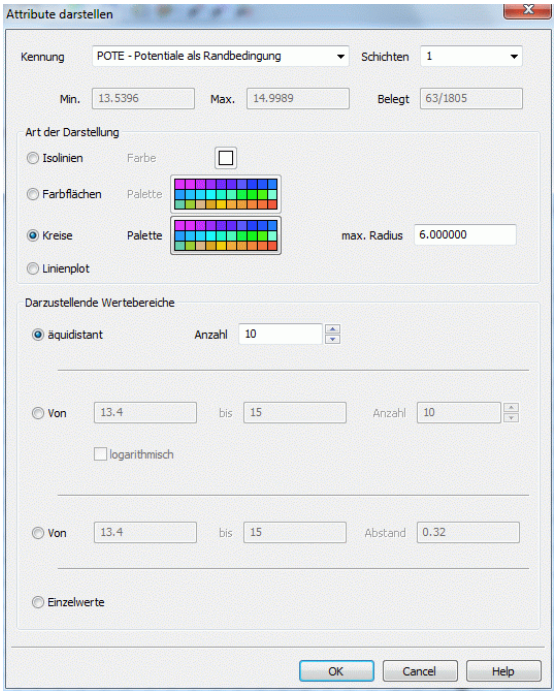


Abb. 102: Attribut-Darstellung

wird deutlich, dass nicht alle Knoten des nordöstlichen Randes einen Potentialwert haben. Dies liegt an den Genauigkeitsparametern der Datenzuweisung!

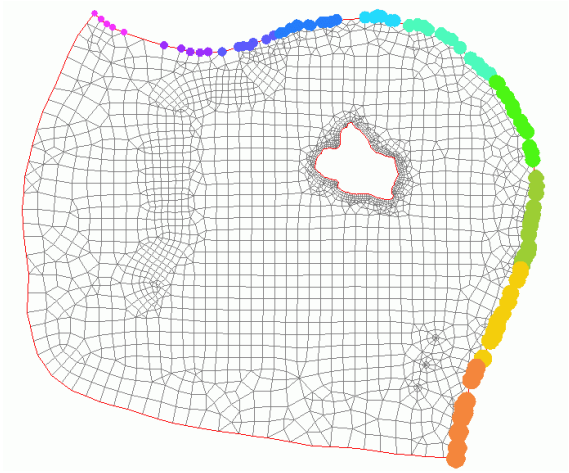


Abb. 103: Darstellung der zugewiesenen (noch nicht vollständigen) Potentiale

Eine erneute Zuweisung von POTE aus den Strukturen (*Struktur → Zuweisen → Liste)* mit folgenden Parametern:

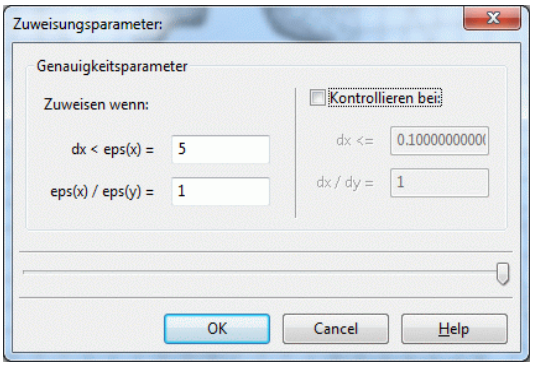


Abb. 104: Angabe der Genauigkeitsparameter

und einer Bestätigung der Abfrage: "Alle überschreiben" weist allen Knoten des nordöstlichen Randes einen Potentialwert zu! Die Darstellung aktualisiert sich anschließend automatisch.

Für die Datenart GLEI der Seerand-Knoten sollte die Vollständigkeit der Zuweisung ebenfalls kontrolliert werden. Standardmäßig kann GLEI nicht mit Kreisen dargestellt werden. Mit dem Umweg über eine andere Datenart (z.B. 1KON, KKKK) ist die Darstellung trotzdem möglich. Mit *Attribute → Kopieren → Attributweise...*

wird GLEI z.B. auf KKKK kopiert und anschließend dargestellt. Nach erfolgter Kontrolle sollten die Hilfsdaten wieder gelöscht werden.

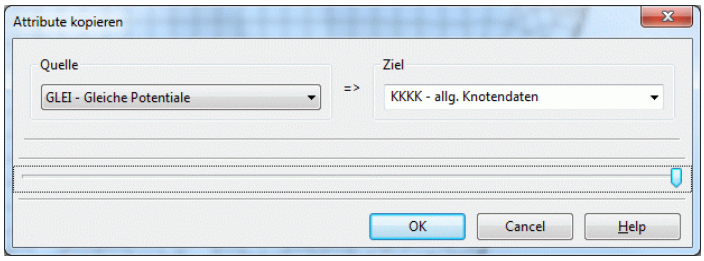


Abb. 105: Attribute kopieren

5.1.3.2 Durch Interpolation von fremden Datenformaten

Es können auch Strukturdaten aus "projektfremden" Dateien (Fremdformat) in ein bestehendes Projekt eingelesen werden. Diese Dateien müssen nicht im *.str-Format vorliegen. Über *Struktur → importieren ... → .str, .txt, .csv, .arc, .shp* lassen sich verschiedene Formate einlesen. Im Beispiel wurde die Strukturdatendatei „s3_Daten2.str“ ausgewählt. Sie steht auf unserer Homepage zum Download bereit bzw. wurde bereits heruntergeladen (Verzeichnis: .../Tutorial_bsp_files/Tutorial_2D_bsp_files/...).

Beim Abspeichern des Projekts (eventuell unter einem neuen Namen), werden die "alten" und "neuen" Struktur-Daten gemeinsam in die bestehende Strukturdatendatei geschrieben.

Die neuen eingeblendeten Strukturen sind: Tiefenangaben der ModellUNTErkanten, eine MARKierung des Bachlaufs und der linienbezogene Leakagewert des Bachlaufs (LERA). Während die Attribute MARK und LERA direkt, wie im Kapitel "Direkte Zuweisung" (S. 201) beschrieben, zugewiesen werden können, muss das Attribut UNTE (Modellunterkante) im vorliegenden Beispiel elementweise interpoliert werden.

Die Eingaben zu den einzelnen Interpolationsverfahren sind im Kapitel "Berechnung – Interpolation" (S. **244**) ausführlich beschrieben.

Unter *Attribute → Zuweisen → Durch Interpolation...* erscheint folgendes Menü:

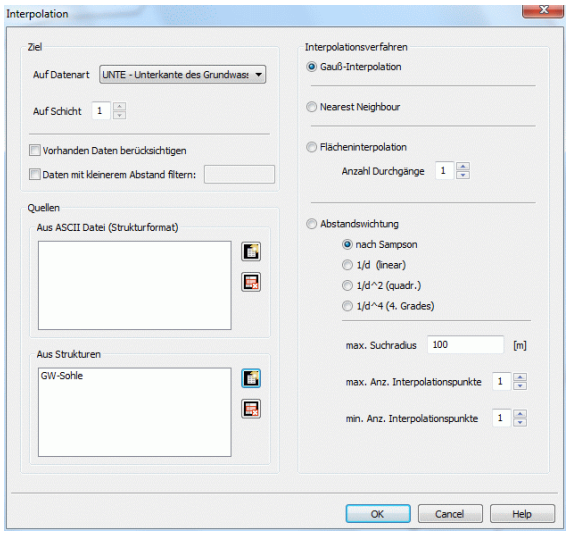


Abb. 106: Interpolation von Elementdaten

Bei Wahl der Quellen: "Aus Strukturen" *Eintrag hinzufügen* (Button) öffnet sich ein weiteres Auswahlmenü, in dem alle vorhandenen Strukturdaten aufgelistet werden. Gewählt wird "UNTE". Als Ergebnisdatenart wird ebenfalls "UNTE" ausgewählt.

Anmerkung: Die Zieldatenart kann dabei von der Kennung der zur Interpolation ausgewählten Strukturdaten abweichen!

Als Interpolationsverfahren wird die Gauß-Interpolation gewählt. Nach Drücken des OK-Buttons werden die Daten interpoliert und nach erfolgreicher Berechnung erscheint folgendes Kontrollfenster:

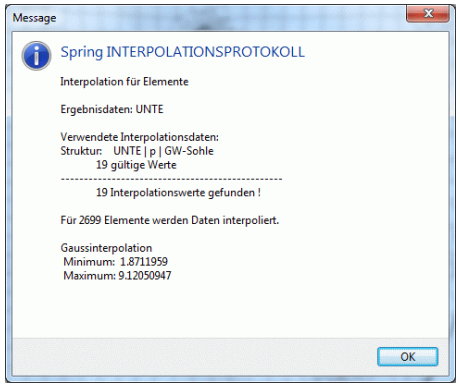


Abb. 107: Gauß-Interpolation

Als nächstes erfolgt die Interpolation der Eichpotentiale. Diese ist besonders sorgfältig durchzuführen, da die Eichpotentiale eine der wichtigsten Datenarten für die Kalibrierung des Grundwassermodells sind. In der Regel liegen an den Grundwassermessstellen im Untersuchungsgebiet zum Kalibrierungszeitpunkt Messwerte vor, die in einer Datei abgelegt sind. Zusätzlich sind Informationen über die Wasserstände des Hauptvorfluters (POTE) und des Nebengewässers (VORF) bekannt. Aus diesen drei Datenarten wird durch Interpolation ein Kalibrierzustand ermittelt, der dann nach einer ersten Darstellung manuell überarbeitet werden muss.

Ein Beispiel für eine notwendige Überarbeitung sind interpolierte Grundwasssergleichen, die eine Infiltration ins Grundwasser zeigen, wo keine ist. Dieses Bild entsteht, wenn die Sohlhöhe kleiner Nebengewässer als Vorfluthöhe angesetzt wird, diese jedoch gar kein Wasser führen. Hier müssen dann die Vorfluthöhen an den Knoten für die Interpolation gelöscht werden.

Zur Berücksichtigung der Attribute VORF und POTE (sie wurden im Kapitel "Direkte Zuweisung" auf S. 201 bereits zugewiesen) werden sie über *Attribute → Kopieren → Attributweise...* von "VORF" bzw. "POTE" auf "EICH" übertragen, um als "vorhandene Daten" in die Interpolation einzugehen.

Unter *Attribute → Zuweisen → Durch Interpolation...* steht das Menü zur Interpolation von Knotendaten zur Verfügung. Dort wird bei *Quellen: "aus ASCII-Datei" Eintrag hinzufügen* die Datei „s3_gwmesspkte_neu.txt“ ausgewählt. Sie steht auf unserer Homepage zum Download bereit bzw. wurde bereits heruntergeladen (Verzeichnis: .../Tutorial_bsp_files/Tutorial_2D_bsp_files/...).

Zusätzlich wird der Menüpunkt "*Vorhandene Daten berücksichtigen*" aktiviert. Dadurch werden die unter der als Ergebnisdaten ausgewählten Datenart (hier EICH) bereits vorhandenen Daten bei den Interpolationspunkten berücksichtigt. Ergebnisdaten sind hier die EICHpotentiale.

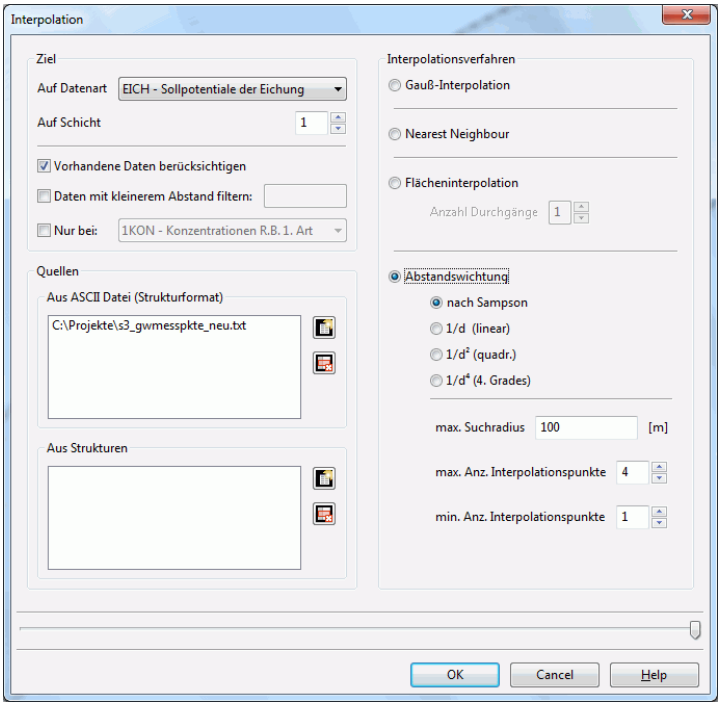


Abb. 108: Interpolation von Knotendaten

Wird der Gauß-Interpolationsalgorithmus gewählt, ist folgendes zu beachten:

Der Gauß-Algorithmus erlaubt keine Interpolationspunkte mit identischen Koordinaten. Dies kann ausgeschlossen werden durch Aktivieren des Kontrollkästchens *Daten mit kleinerem Abstand filtern*. Dadurch wird der Abstand aller Interpolationspunkte zueinander auf den im Textfeld eingegebenen Mindestabstand über-

prüft. Haben zwei Interpolationspunkte einen kleineren Abstand zueinander, wird der Interpolationspunkt, der als zweites auftritt nicht verwendet. Dabei werden erst die vorhandenen Daten, dann die Strukturdaten in der Reihenfolge der Liste und anschließend die Daten aus den ASCII-Dateien überprüft.

Durch Auswahl des Kontrollkästchens *Nur bei* lassen sich Knotendaten genau in dem Bereich interpolieren, in dem die ausgewählte Datenart zugewiesen ist.

Es können jederzeit über *Datei → Importieren → Datei überlagern → *.txt* die Messwerte und die Lage der Messstellen angezeigt werden. Über folgendes Eingabefenster werden die Daten ausgewählt.

Zunächst muss auf den „Vorschau“ Button geklickt werden. Im unteren Bereich des Dialoges werden anschließend die Spalten ausgewählt. Außerdem kann ein Marker (Typ, Höhe und Farbe) ausgewählt werden.

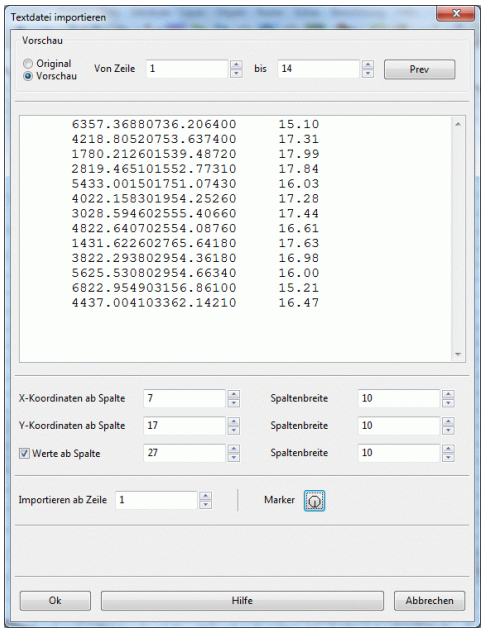


Abb. 109: Textdatei importieren

Nach erfolgreicher Interpolation lassen sich die EICHpotentiale über *Ansicht → Attribute darstellen → Isolinien/Flächenplots/Werte...* in folgender Form darstellen (Isolinien im Intervall 12.50 bis 20.0 und dem Abstand 0.5 m):

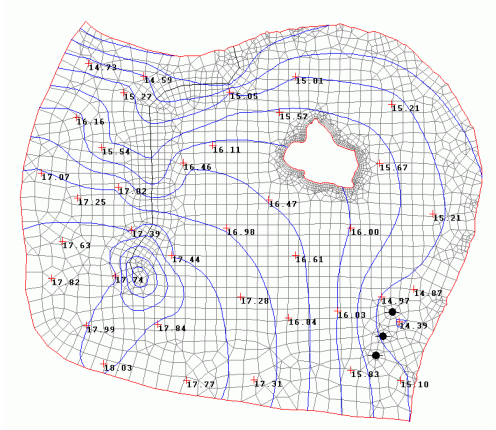


Abb. 110: Interpolierte Eichpotentiale, Isolinien im Abstand 0.5 m

Im Oberlauf des Baches ist die vorher beschriebene, aber nicht wirklich vorhandene Grundwasserinfiltration des Baches erkennbar, die durch einen "Grundwasserberg" sichtbar wird. Für die Kalibrierung werden die Daten folgendermaßen aufbereitet:

Zunächst wird das Attribut VORF auf eine Hilfsdatenart (z.B. KKKK, wenn schon belegt, dann vorher löschen!) kopiert. An 17 Knoten des Bach-Oberlaufs werden die VORFlutpotentiale gelöscht (*Attribute → Löschen…*).

Außerdem werden die EICHpotentiale vollständig gelöscht. Anschließend werden die VORFluthöhen und die RandPOTEntiale erneut auf das Attribut EICH kopiert.

Die oben beschriebene Interpolation der EICHpotentiale wird nun noch einmal durchgeführt.

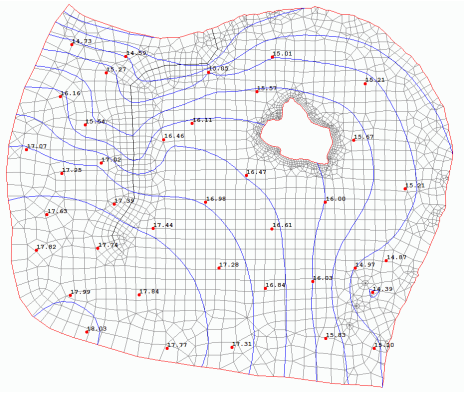
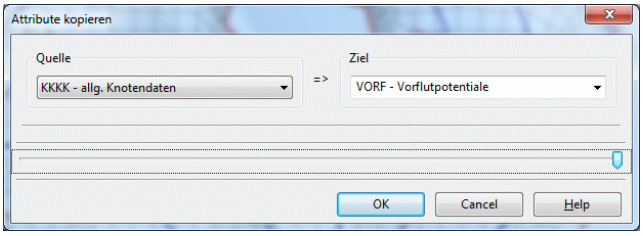


Abb. 111: Interpolierte Eichpotentiale unter Berücksichtigung der Vorflutverhältnisse

Danach werden die auf einem Hilfsattribut (z.B. KKKK) abgelegten vollständigen VORFlutpotentiale wieder zugewiesen (*Attribute → Kopieren → Attributweise…*).



Durch die geringe Datendichte im Bereich der Entnahmebrunnen spiegelt sich deren Grundwasserabsenkung nicht im Verlauf der Isolinien wider.

Des Weiteren muss noch die Geländehöhe zugewiesen werden. Geländehöhen liegen meist als ASCII-Datensätze vor, die erst in die Strukturdatendatei eingelesen werden müssen.

Die Datei „s3_gela.zip“ steht auf unserer Homepage zum Download (entpacken!) bereit bzw. ist bereits vorhanden (Verzeichnis: .../Tutorial_bsp_files/Tutorial_2D_bsp_files/s3_gela.zip). Diese zip-Datei enthält die Datei gela.txt. Da diese Datei nicht im Strukturdatenformat (S. **31**) vorliegt, müssen diese Daten zunächst als Struktur importiert werden (*Struktur → Importieren,* S. 193).

Anschließend können die Daten ebenfalls über *Attribute → Zuweisen → Durch Interpolation…, Quellen: aus Strukturen* zugewiesen werden.

Aufgrund der Datenmenge ist es bei einem DGM-Raster (Digitales Gelände Modell) empfehlenswert, zur Interpolation die Abstandswichtung zu wählen (z.B. Suchradius = 100.0 m, max. Anzahl Interpolationspunkte = 4, min. Anzahl Interpolationspunkte = 2). Nach Auswahl der Datenart "GELA“ werden die Daten auf die Knoten interpoliert.

Achtung: Bei der Abstandswichtung muss im Interpolationsprotokoll darauf geachtet werden, ob alle FE-Knoten einen Wert erhalten haben. Wenn nicht, muss der "Suchradius" vergrößert werden.

5.1.3.3 Manuelle Attributzuweisung

Zur besseren Übersichtlichkeit in der späteren Plotdarstellung werden den Entnahmebrunnen die Markierungen "120." (= typische Brunnenmarkierung) folgendermaßen zugewiesen:

Über *Ansicht → Attribute darstellen → Isolinien/Flächenplots/Werte → KNOT* können die Entnahmeknoten eingeblendet und ihnen über *Attribute → Zuweisen → Direkt...: MARK = 120.* die entsprechende Markierung zugewiesen werden.

Für die anschließende Strömungsberechnung fehlen noch die Grundwasserneubildung (FLAE) und die Durchlässigkeiten (KWER). Diese Datenarten können flächendeckend auf alle Elemente zugewiesen werden mit *Attribute → Zuweisen → Direkt....* Im Beispiel wird die Grundwasserneubildung für das ganze Gebiet auf FLAE = 0.200 mit Zeichen " * " gesetzt, dies entspricht einer Neubildungsrate von 0.200 m³/m²/Zeiteinheit bzw. 200 mm/Jahr.

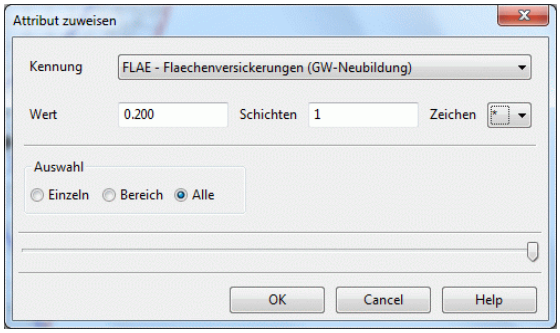


Abb. 112: Attribute direkt zuweisen

Das Gleiche wird nun für die Festlegung der Durchlässigkeitswerte (KWER) des gesamten Modellgebiets durchgeführt, jedoch ohne zusätzliches Zeichen in der 15./16. Spalte. Die Start-K-Werte vor Beginn der Kalibrierung werden auf 0.00005 m/s gesetzt. Außerdem werden für die K-Werte eine obere (KMAX = 0.002 m/s) und eine untere (KMIN = 0.000001 m/s) Schranke für die Kalibrierung eingeführt, die ebenfalls auf alle Elemente zugewiesen werden müssen.

Über *Ansicht → Markierungen* lassen sich die zugewiesenen Markierungen einblenden, oder man aktiviert den entsprechenden Button in der Symbolleiste ( ).

Das bis hierher erstellte Netz einschließlich der Strukturdatendatei „s3_schritt3_3.zip“ steht an dieser Stelle auch zum Download auf unserer Homepage bereit bzw. ist bereits vorhanden (Verzeichnis: .../Tutorial_bsp_files/Tutorial_2D_bsp_files/s3_schritt3_3.zip).

Da nun alle notwendigen Daten für eine Kalibrierung vorliegen, wird in Schritt 4: Vorgehen bei der Kalibrierung eines Grundwassermodells der Vorgang der Kalibrierung näher erläutert.

5.1.4 Schritt 4: Kalibrierung eines Grundwassermodells

5.1.4.1 Visualisierung des Ausgangszustandes

Sind das FE-Netz erstellt und die Daten zugewiesen, muss vor der Kalibrierung (und jedes Mal, wenn die Daten der Netz-Datei verändert werden) eine Modellprüfung durchgeführt werden. Dies geschieht über *Berechnung → Modellprüfung*. Hierbei werden die Modelldaten zur schnelleren Verarbeitung in so genannten Hintergrunddateien abgelegt (aaa, bbb, ccc).

5.1.4.2 Erstellung eines Modelldaten-Plots

Nach der Modellprüfung lassen sich bereits Plots von den Modelldaten erstellen. Zur Veranschaulichung des bisherigen Modellstandes können die EICH-Potentiale in einem Isolinienplan dargestellt werden. Mit *Datei → Ploterstellung → Draufsicht/Kartenerstellung...* erscheint folgendes Eingabefenster:

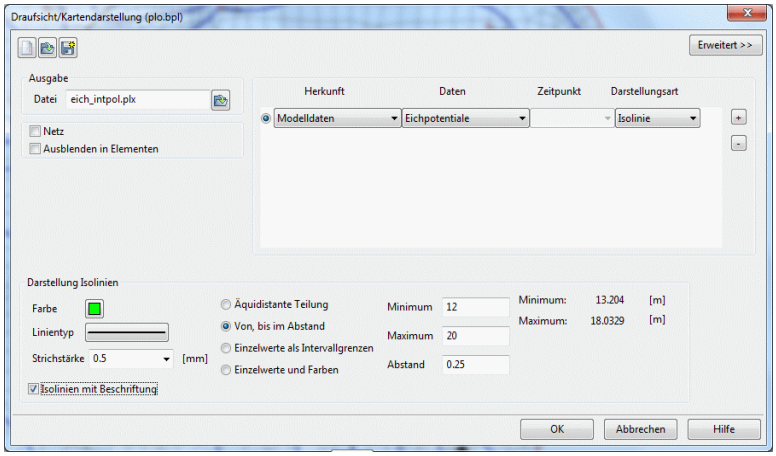


Abb. 113: Ploterstellung

Nach Auswahl der Datenart *Modelldaten → Eichpotentiale → Isolinien* wird die Darstellung *von bis im Abstand*: 12.0 - 20.0, 0.25 m, *Farbe*: grün gewählt. Anschließend wird ein Name für den Plot ("eich_intpol.plx") eingegeben und der Rechenlauf gestartet. Mit *Datei → Importieren → Datei überlagern...: *.plx* lässt sich der Plot darstellen. Es erscheint folgendes Bild:

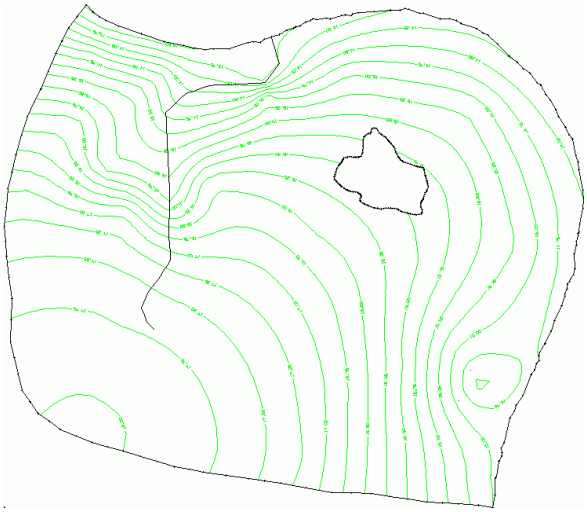


Abb. 114: Isolinien der interpolierten Eichpotentiale

5.1.4.3 Kalibrierung mit dem Gradientenverfahren

Mit den vorhandenen (Start-)K-Werten wird zunächst ein Iterationslauf gerechnet: *Berechnung → Modellkalibrierung (Gradientenverfahren)....* Es erscheint folgendes Eingabefenster:

Abb. 115: Kalibrierung

Nach dem Öffnen der "Erweiterten Einstellungen" lassen sich weitere Einstellungen vornehmen.

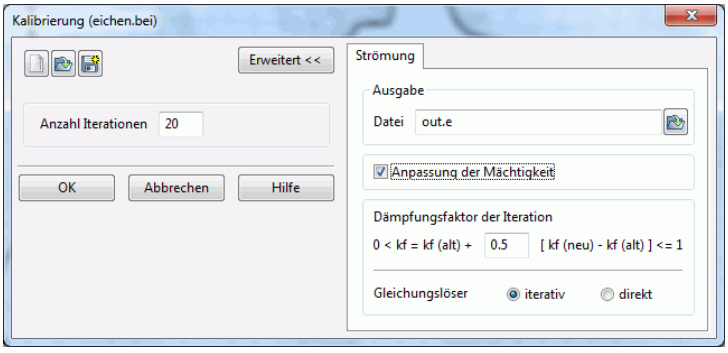


Abb. 116: Erweiterte Einstellungen (2D)

Nach dem Rechenlauf können die aus den Messwerten interpolierten Isolinien den Isolinien, die sich aus den berechneten K-Werten ergeben, gegenübergestellt werden.

Hierzu werden unter *Datei → Ploterstellung →Draufsicht/Kartenerstellung...* im Eingabefenster die Modelldatenart EICH und die Ergebnispotentiale nach der Kalibrierung dargestellt (rot). Beim Schließen des Moduls werden die Einstellungen für diesen Plot in der Batchdatei "plo.bpl" (voreingestellt) abgespeichert.

Der folgende Plot zeigt das Ergebnis der ersten Kalibrierung:

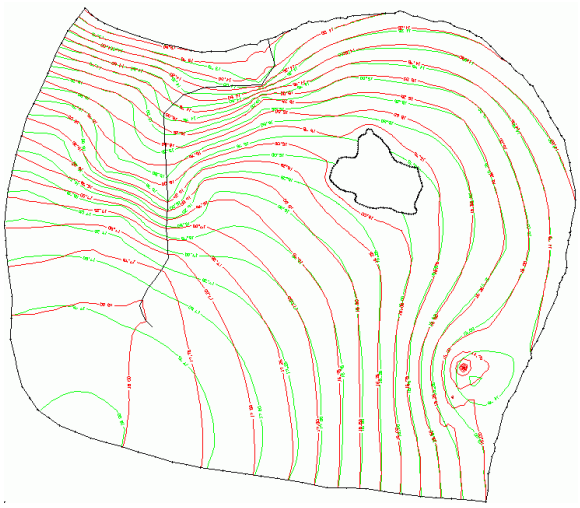


Abb. 117: der Soll- (grün) und Ist-Potentiale (rot) nach der 20. Iteration

5.1.4.4 Erstellen eines Messdaten-Differenzenplots und Abspeichern der Daten

Wenn eine Messdaten-Datei vorhanden ist, können an den Messpunkten (in der Regel Grundwassermessstellen) die Differenzen zwischen den gemessenen und berechneten Grundwasserständen durch "*Differenzen als Kreise*" dargestellt werden.

Dies geschieht im Rahmen der Plotdarstellung, indem bei der Datenherkunft "Messdaten" gewählt werden. Es erscheint ein Eingabefenster, in dem die Datei mit den Messwerten und die zu verrechnenden Daten definiert werden:

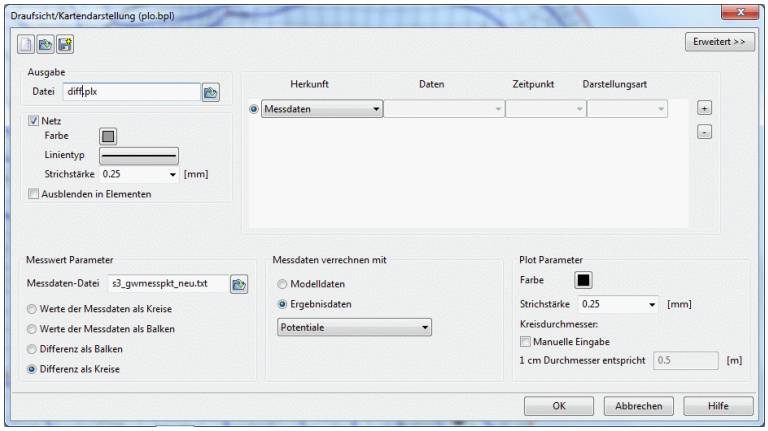


Abb. 118: Erstellen eines Differenzenplots

Die Datei mit den Messdaten wurde bereits in Schritt 3: Durch Interpolation.... zum Download zur Verfügung gestellt. Im Eingabefenster werden Differenzen als Kreise ausgewählt, und es wird folgendes Bild erstellt:

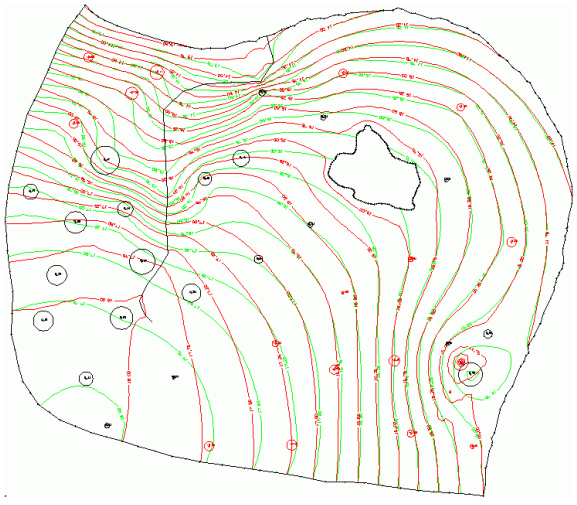


Abb. 119: Isolinien mit Differenzen-Plot

Die berechneten Isolinien besonders im östlichen Teil spiegeln schon recht gut den Verlauf der durch Messung ermittelten Isolinien wider. Die Abweichung an den Messstellen liegt bei maximal 0.47 m, im Mittel liegt

sie bei 0.10 m. (Diese Abweichungen werden im Protokollfenster der Plotdarstellung angezeigt, die Abweichungen im Protokollfenster der Kalibrierung beziehen sich auf alle Knoten und liegen max. bei 1.24 m, im Mittel bei 0.11 m.). Die berechneten Differenzen sind an jedem Messpunkt dargestellt:

Positive Werte (schwarz) bedeuten: die Modellberechnung liefert größere Werte als die Messung, in diesem Beispiel heißt das: im Modell ist an dieser Stelle zu viel Wasser. Bei negativen Werten (rot) liefert die Berechnung kleinere Werte als die Messung, das heißt in diesem Fall: im Modell ist an dieser Stelle zu wenig Wasser.

Anmerkung: Sollen die berechneten Differenzen für eine spätere Auswertung als Datei abgespeichert werden, ist dies unter *Datei → Exportieren → Differenz zu Messdaten* möglich:

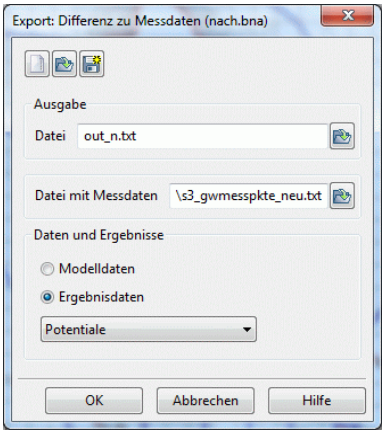


Abb. 120: Export von Messdaten-Differenzen

5.1.4.5 Kalibrierung des Beispiels in 3 Schritten

Die erste Kalibrierung liefert eine gute Ausgangsbasis für die K-Werte. Diese werden über *Attribute → Modelldaten/Berechnungsergebnisse importieren...* in die Modell-Datei übernommen:

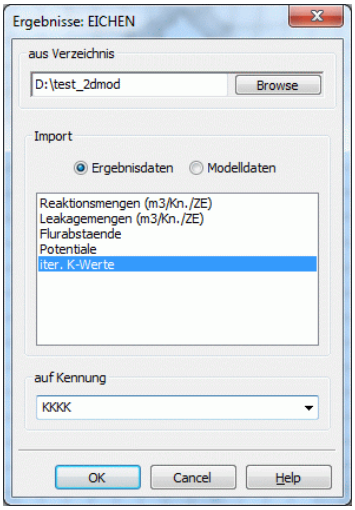


Abb. 121: Einlesen von Ergebnisdaten

Bei Wahl der Kennung "KWER", werden die vorhandenen K-Werte überschrieben. Um große Sprünge der K-Werte in benachbarten Elementen zu vermeiden, werden die K-Werte folgendermaßen geglättet:

Attribute → Berechnen → Glätten: Kennung:"KWER", der Wichtungsfaktor wird auf 0.5 gesetzt, die Wichtungsart ist voreingestellt auf "linear". Die Modell-Datei wird gespeichert. Anschließend wird das Modell geprüft (*Berechnung → Modellprüfung*), eine Strömungsberechnung (*Berechnung → Stationäre Strömung*) mit 5 Iterationen und Modul GEONEU (→ *Erweiterte Einstellungen*) gerechnet und ein neuer Plot mit der zuvor gespeicherten "plo.bpl"-Batchdatei erstellt. Das Ergebnis zeigt das folgende Bild:

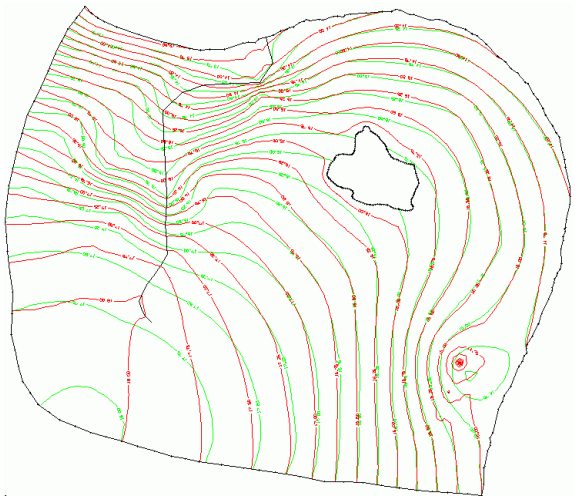


Abb. 122: Isolinien mit Differenzen-Plot nach Glätten der K-Werte

Die maximale Abweichung an den Messpunkten beträgt 0.50 m, die durchschnittliche liegt bei 0.09 m.

Der Verlauf der Isolinien im Oberlauf des Baches deutet auf eine Infiltration des Bachwassers ins Grundwasser hin. Die Isolinie "17.75 (rot)" bildet beim "Überqueren" des Baches eine Spitze in Fließrichtung aus.

Da dies hier nicht den tatsächlichen Gegebenheiten entspricht (Bachbett ist wahrscheinlich trocken), wird an den letzten 14 Knoten der Parameter MXKI = 0.0 zugewiesen, d.h., eine Infiltration wird unterbunden (*Attribute → Zuweisen → Direkt...*).

Nach Durchlauf der *Modellprüfung*, einer *stationären Strömungsberechnung* und der *Ploterstellung* bietet sich das folgende Bild:

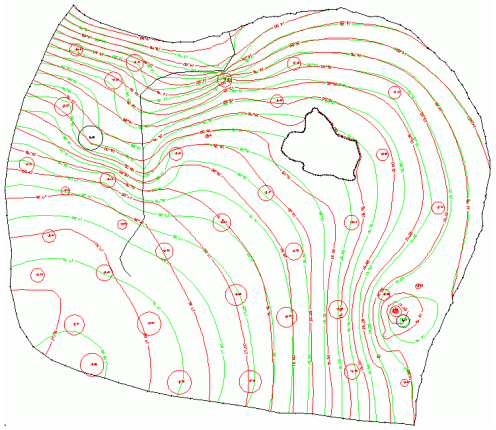


Abb. 123: Isolinien mit Differenzen-Plot nach Einführen von "MXKI" an 14 Knoten

Die Infiltration im Oberlauf des Baches ist beseitigt. Der Verlauf der Isolinien ist plausibler, jedoch hat sich die mittlere Abweichung der Messstellen verschlechtert. Die maximale Abweichung liegt nun bei 0.39 m und die mittlere bei 0.17 m. In einem Großteil des Modells scheint zu wenig Wasser vorhanden zu sein!

Es bietet sich an, mit den bis hierher veränderten Parametern noch einmal eine Kalibrierung zu starten. Das Ergebnis ist folgendes Bild:

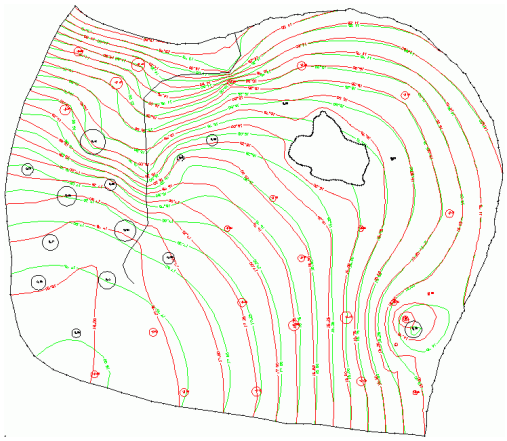


Abb. 124: Isolinien mit Differenzen-Plot nach erneuter Kalibrierung

Zu guter Letzt werden die iterierten K-Werte in die Modell-Datei übernommen und eine neue Strömungsberechnung durchgeführt. Mit der aktuellen Netz-Datei „s4_kalibriert“ ergibt sich dieses Bild (Download von unserer Homepage bzw. ist bereits vorhanden (Verzeichnis: .../Tutorial_bsp_files/Tutorial_2D_bsp_files/s4_kalibriert.zip):

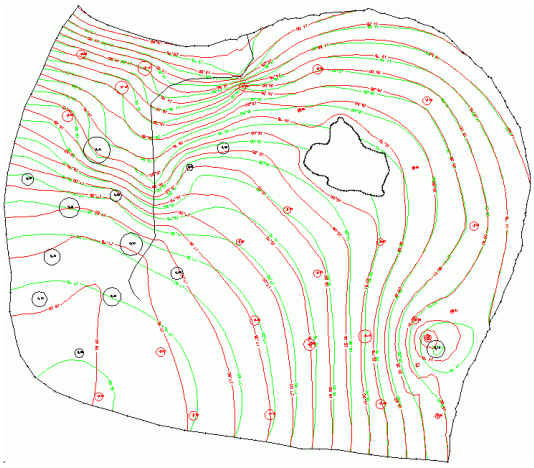


Abb. 125: Isolinien mit Differenzen-Plot des kalibrierten Modells

Die Abweichungen an den Messpunkten liegen bei maximal 0,41 m und im Durchschnitt bei 0,08 m. Dies wird für das Beispielmodell als ausreichend genau beurteilt.

Die Verteilung der Durchlässigkeiten sieht jetzt folgendermaßen aus:

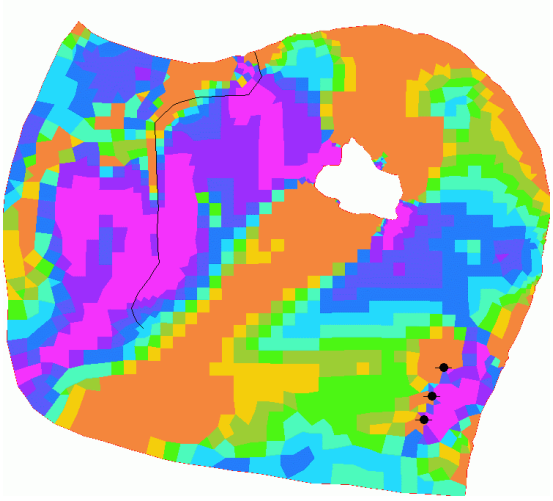


Abb. 126: Verteilung der kalibrierten Durchlässigkeiten

Die Durchlässigkeiten wurden (über *Ansicht → Attribute darstellen → Isolinien/Flächenplots/Werte*) im Intervall 1.0e-06 bis 0.002 innerhalb von 10 Wertebereichen dargestellt. Durch Öffnen des Projektmanagers erscheint in einem neuen Fenster die Layerliste, in der durch Drag&Drop die Anordnung der einzelnen Layer geändert werden kann (Hinweis: "Oben" in der Layerliste entspricht ganz hinten, "Unten" in der Layerliste entspricht ganz vorn). Durch Anklicken des Kontrollkästchens wird die Legende des entsprechenden Layers eingeblendet.

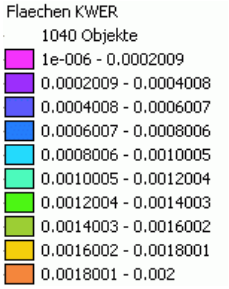


Abb. 127: Legende der Durchlässigkeitswerte [m/s]

Wie beschrieben kann eine schrittweise Modellkalibrierung aussehen, sie erfordert jedoch immer Kenntnisse des Anwenders über die örtlichen Gegebenheiten und lässt sich nicht nach Schema F abwickeln. Zudem sollte am Ende einer Kalibrierung eine Plausibilitätsprüfung der (iterierten) Parameter stehen.

5.1.4.6 Allgemeine Hinweise zur Kalibrierung

Die während der Modellkalibrierung iterierten K-Werte werden in der Ausgabedatei out.e im Dateiformat der *.net-Datei gespeichert und können von dort in die Modelldatei übernommen werden. Die Vorgehensweise (*Attribute → Modelldaten/Berechnungsergebnisse importieren ...*) wurde am Anfang von Kapitel "Kalibrierung des Beispiels in 3 Schritten" auf S. 211 erläutert.

Aufgrund der Komplexität eines Grundwassermodells führt die automatische Veränderung der Durchlässigkeiten nicht unbedingt zu einem plausibel kalibrierten Modellzustand. Daher muss das Modell "per Hand" nachkalibriert werden. Die grundsätzliche Vorgehensweise sieht folgendermaßen aus:

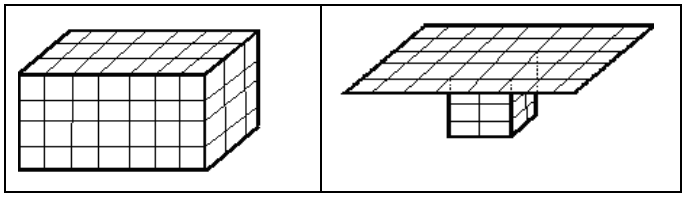
5.1.4.7 Schematisches Vorgehen bei der Kalibrierung

1. Übernehmen der automatisch iterierten K-Werte in die Modelldatei
2. Modellprüfung
3. Strömungsberechnung
4. Gegenüberstellung der Grundwassergleichen aus Messdaten mit den berechneten Grundwassergleichen,
   - wenn vorhanden, mit Darstellung der Differenzen (Kreiseplot) an den Messstellen
5. Bereichsweise Veränderung der Durchlässigkeiten entsprechend dem Verlauf der Isolinien:
   - liegen die berechneten Potentiale zu hoch, ist der Boden zu undurchlässig, d.h., die K-Werte müssen möglicherweise vergrößert werden
   - sind die berechneten Potentiale zu niedrig, staut der Boden zu wenig Wasser, und die K-Werte müssen möglicherweise undurchlässiger angesetzt werden
6. Zusätzlich gibt es natürlich andere Parameter, die ebenfalls bereichsweise verändert werden können:
   - Leakageanbindung der Vorfluter erhöhen oder reduzieren
   - Randzuflüsse überprüfen
   - Glätten der K-Werte über *Attribute → Berechnen → Glätten*: KWER auswählen und Wichtungsfaktor z.B. auf 0,5 setzen. Dadurch werden Sprünge in den benachbarten Netzelementen ausgeglichen.

Nach Veränderung der Parameter (Tipp: man sollte nicht zu viele Parameter auf einmal verändern!) wird das Modell geprüft und anschließend eine Strömungsberechnung durchgeführt. Danach beginnt man wieder bei Schritt 4. der schematischen Vorgehensweise. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt, bis sich ausreichend genaue Abweichungen ergeben und der Verlauf der Isolinien plausibel erscheint.

5.2 Aufbau eines 3D-Modells

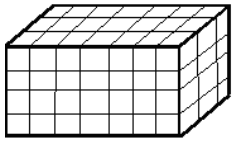
Die benötigten Dateien „s4_2D_schulung3D.zip“ stehen auf unserer Homepage zum Download bereit unter Download&Support: Tutorial (DE): Tutorial_bsp_files.zip ( ).



Im Rahmen einer Modelluntersuchung kann es vorkommen, dass die Fragestellungen innerhalb des Projekts aufgrund der örtlichen Verhältnisse (z.B. geologische Störungen, mehrere Grundwasserleiter, Wasserentnahmen aus tieferen Stockwerken, uvm.) eine dreidimensionale Modellbildung notwendig machen. Unabhängig davon, ob ursprünglich ein Horizontalmodell geplant war oder im Projekt von Anfang an ein dreidimensionales Modell konzipiert war, werden 3D-Modelle in SPRING auf Grundlage eines Horizontalmodells erstellt. Dabei ist es zweckmäßig, die 3D-Erweiterung erst nach vollständiger geometrischer Überprüfung des Horizontalmodells durchzuführen.

Anhand des Schulungsbeispiels wird hier das Vorgehen zum Aufbau eines 3D-Modells auf der Basis des vorhandenen Modells beschrieben.

5.2.1 Aufbau eines vollständigen 3D-Modells



Beispiel eines gleichförmigen 3D-Modells

5.2.1.1 Theoretische Grundlagen

Alle 3D-Elemente besitzen denselben Grundriss. Die Systematik bei der Zuweisung der Knoten- und Elementnummerierung ermöglicht eine schnelle Identifikation aller Elemente und Knoten auf Grundlage des 2D-Netzplanes.

- Ausgangspunkt ist das 2D-Netz eines Horizontalmodells
- alle Knoten über die Tiefe haben die gleichen x- und y- Koordinaten

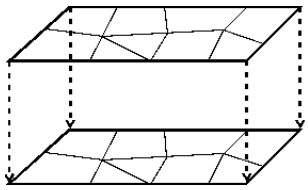


Abb. 128: Projektion des Horizontalnetzes in die Tiefe

Zur Vereinfachung der Netzerstellung bietet sich die Entkopplung der ebenen und der räumlichen Netzerzeugung an. Zunächst wird wie bei einem horizontal ebenen Modell ein 2D-Finite-Elementnetz erzeugt. Dabei ist darauf zu achten, dass alle Zwangspunkte wie Förderbrunnen und Messpegel oder Schichtgrenzen auch in der Tiefe berücksichtigt werden. In einem zweiten Schritt wird dieses 2D-Netz in die Vertikale projiziert.

Von einem bestehenden Horizontalmodell auszugehen, bringt zwei Vorteile mit sich: Bei der Erstellung eines 3D-Modells ist es für den Anwender einfacher und übersichtlicher, zunächst wie gewohnt ein 2D-Modell komplett fertig zu stellen und auf Eingabefehler zu testen.

Bei schon bestehenden Modellen erlaubt dieses Vorgehen eine schnelle Erweiterung auf die dritte Dimension, wenn sich z.B. bei der Kalibrierung oder der Simulationsrechnung herausstellt, dass ein Horizontalmodell nicht ausreicht, um die wirklichen Verhältnisse widerzuspiegeln.

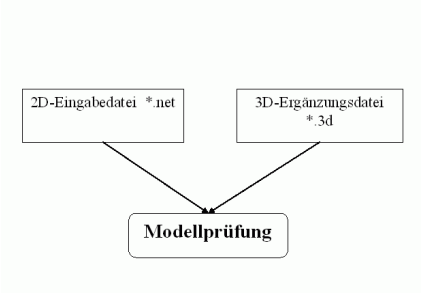


Abb. 129: Datenverarbeitung

Die über die Ergänzungsdatei der 3D-Daten gesteuerte Generierung des Netzes in die Tiefe findet während der Modellprüfung statt. Die Projektion des Horizontalnetzes auf tiefere Schichten erlaubt dabei ein automatisiertes Vorgehen mit sehr wenig zusätzlichen Eingaben. Es sind prinzipiell zwei Wege möglich:

- 3D-Erweiterung über Schichtenzahl und Teilung (3DSH)
- 3D-Erweiterung über Vorgabe der Z-Koordinaten (ZKOR)

5.2.1.2 3D-Erweiterung über Schichtenanzahl und Teilung (3DSH)

Die in der Modelldatei vorhandene Unterfläche des Grundwasserleiters bildet die unterste Knotenschicht. Die Geländeoberfläche (GELA) oder - falls keine vorhanden ist - ein eingegebener Grundwasserstand (EICH) oder - falls beide nicht vorhanden sind - die auf Knoten interpolierten Modelloberflächen (OBER) definieren die oberste Knotenschicht. Durch Angabe des Teilungsverhältnisses der gewünschten Schichten werden die dazwischenliegenden Knotenschichten generiert.

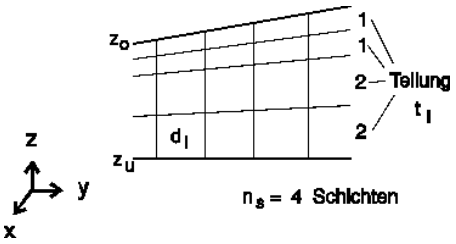


Abb. 130: Generierung des 3D-Netzes durch Angabe der Teilung

Die in der Regel an jedem Punkt unterschiedliche Mächtigkeit zwischen Oberfläche und Unterfläche wird im angegebenen Verhältnis geteilt und so die entsprechende z-Koordinate ermittelt:

$$d_i = \frac{z_o - z_u}{\sum_{j=1}^{n_s} t_j} * t_i$$

Dieses Vorgehen bietet sich bei Grundwasserleitern ohne ausgeprägte geologische Schichtung an, bei denen das räumliche Fließen des Grundwassers durch äußere Ursachen (z.B. unvollkommener Brunnen oder Unterströmung eines Bauwerks oder Flusses) bedingt ist.

5.2.1.3 Umsetzung in SPRING

Im bestehenden Modell wird zunächst der Rand des 3D-Gebiets definiert. Mit *Netz → 3D → Rand → Netzrand = 3D-Rand* wird automatisch der neue 3D-Rand zugeordnet. Über *Ansicht → Projektinformationen* erscheint mit den Eigenschaften des Projekts jetzt der Modelltyp "3D-Modell".

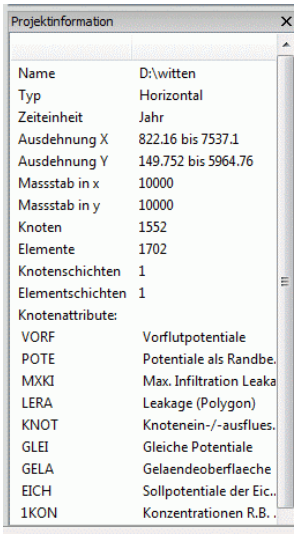


Abb. 131: Projektinformationen

Nach Auswahl von *Netz → 3D → Neue Schichteinteilung* erscheint folgendes Fenster, in dem die gewünschte Schichteinteilung festlegt werden kann:

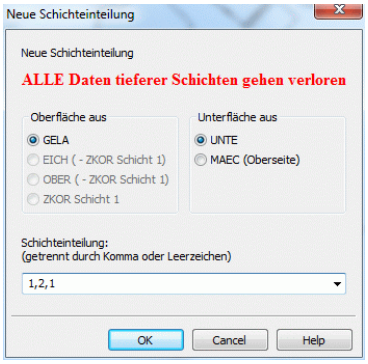


Abb. 132: Neue Schichteinteilung

Im untersten Feld werden Anzahl und Mächtigkeit der Elementschichten entsprechend der geologischen Verhältnisse definiert.

Die im Beispiel angegebenen Zahlen haben folgende Bedeutung:

- Die **Anzahl** der Zahlen (hier: 3) bestimmt die Zahl der Elementschichten.
- Die **Summe** der Zahlen (hier: 1+2+1=4) bestimmt die Teilmächtigkeiten der einzelnen Elementschichten. Im Beispiel wird die vorhandene Mächtigkeit (= Geländeoberkante - Modellunterkante) durch 4 geteilt und mit den angegebenen Verhältniszahlen der einzelnen Schichten multipliziert. Daraus ergibt sich für die erste Schicht eine Schichtdicke von 1/4 der gesamten Mächtigkeit, für die zweite Schicht eine Schichtdicke von 1/2 und für die dritte Schicht wiederum eine Schichtdicke von 1/4 der Gesamtmächtigkeit.

Im folgenden Vertikalschnitt lässt sich das Verhältnis der Schichtdicken zueinander deutlich erkennen:

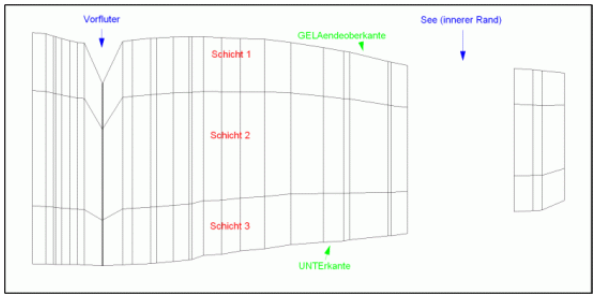


Abb. 133: Vertikalschnitt des neuen 3D-Modells (100-fache Überhöhung in Y-Richtung)

Bereits während der Netzbearbeitung ist es in SPRING möglich, sich einen beliebigen Schnitt durch das Modell anzuschauen. Über *Ansicht → Vertikalschnitt* werden zwei beliebige Punkte (Drücken der linken Maustas-

te) gewählt, die den zugehörigen Vertikalschnitt durch das Modell definieren. Dieses Feature ist unabhängig von der Modellart, es funktioniert auch bei Horizontalmodellen.

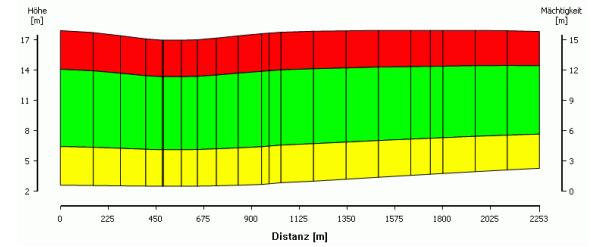


Abb. 134: Beliebiger Vertikalschnitt durch das 3D-Modell

Die Schichten des 3D-Modells können über *Ansicht → 3D-Netz* dargestellt werden. Es öffnet sich ein weiteres Fenster (3D-Ansicht), in dem das Modell durch Drücken der linken Maustaste beliebig in alle Richtungen gedreht werden kann:

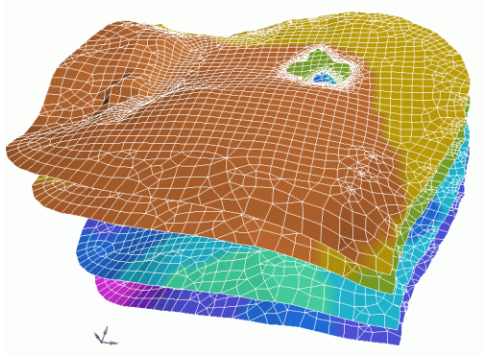


Abb. 135: Dreidimensionale Ansicht des Modells

Für eine einfache Strömungsberechnung reicht es aus, den unteren Schichten über *Attribute → Zuweisen → Direkt...* einen Durchlässigkeitswert zuzuweisen. Bei komplexen hydrogeologischen Verhältnissen muss für tiefere Schichten bzw. Grundwasserleiter gegebenenfalls eine schichtweise Kalibrierung durchgeführt und weitere notwendige Attribute eingeführt werden (Sättigungsparameter, undurchlässige Schichten, etc.).

5.2.1.4 3D-Erweiterung über Vorgabe der Z-Koordinaten (ZKOR)

Bei diesem Vorgehen muss, außer für die oberste Knotenschicht (= Gelände- oder Grundwasseroberfläche), für jeden Knoten der z-Wert angegeben werden. Das Interpolationswerkzeug in SPRING kann bei der Konstruktion der z-Koordinaten-Schichten genutzt werden. Die x- und y-Koordinaten ergeben sich aus dem 2D-Netz. Die horizontalen Elementgrenzen können Bodenschichtungen folgen oder der vertikalen Verfeinerung dienen.

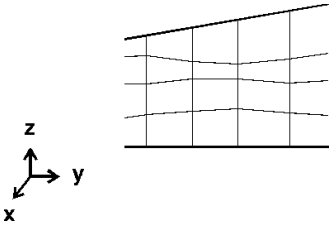


Abb. 136: Generierung des 3D-Netzes durch Vorgabe der Z-Koordinaten

5.2.2 Einbau von auslaufenden Schichten in das 3D-Modell

In SPRING besteht die Möglichkeit, lokale vertikale Netzverfeinerungen durchzuführen oder auslaufende Schichten in das Modell einzubauen.

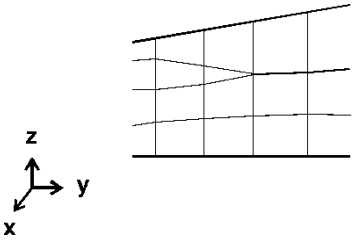


Abb. 137: Auslaufende Schichten

5.2.2.1 Theoretische Grundlagen

Um z.B. Details wie lokale geologische Störungen, Tonlinsen, örtlich begrenzte Grundwassergeringleiter o.ä. in einem 3D-Modell abzubilden, ist oftmals eine vertikale Netzverfeinerung erforderlich (auslaufende Schichten).

Soll eine Elementschicht auslaufen, müssen die Z-Koordinaten der unteren Knotenschicht und der oberen Schicht für alle entsprechenden Knoten identisch sein.

Mit welcher Genauigkeit die Z-Koordinaten als identisch gelten und damit zusammengelegt werden, bestimmt ein Parameter im Startmenü der Modellprüfung.

eingegeben werden. Voreingestellt ist ein Wert von 0.01 m (haben die Z-Koordinaten zweier untereinander liegender Knoten also einen Abstand kleiner oder gleich 1 cm, so werden die Knoten zu einem Knoten zusammengelegt.)

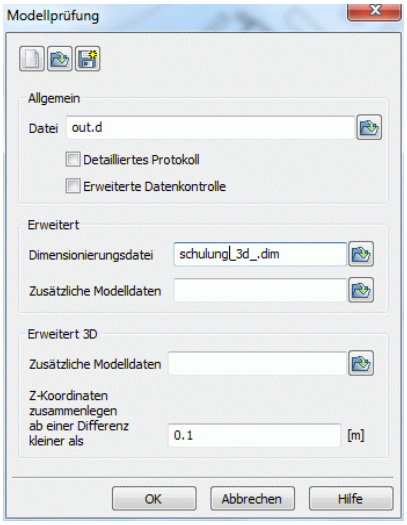


Abb. 138: Modellprüfung mit 3D-Erweiterung

Die *Modellprüfung* erkennt wegfallende Knoten und Elemente, so dass die Berechnungsprogramme nur die übrig bleibenden Daten bearbeiten.

5.2.2.2 Umsetzung in SPRING

Die Umsetzung lokaler vertikaler Netzverfeinerungen in SPRING geschieht mithilfe des Menüpunktes *Netz → 3D → Schicht teilen*. Dabei werden die Daten für die neuen Knoten und Elemente automatisch (wie bei der horizontalen Netzverfeinerung) mitgeneriert.

Nach Aufruf des Menüpunktes erscheint folgendes Eingabefenster:

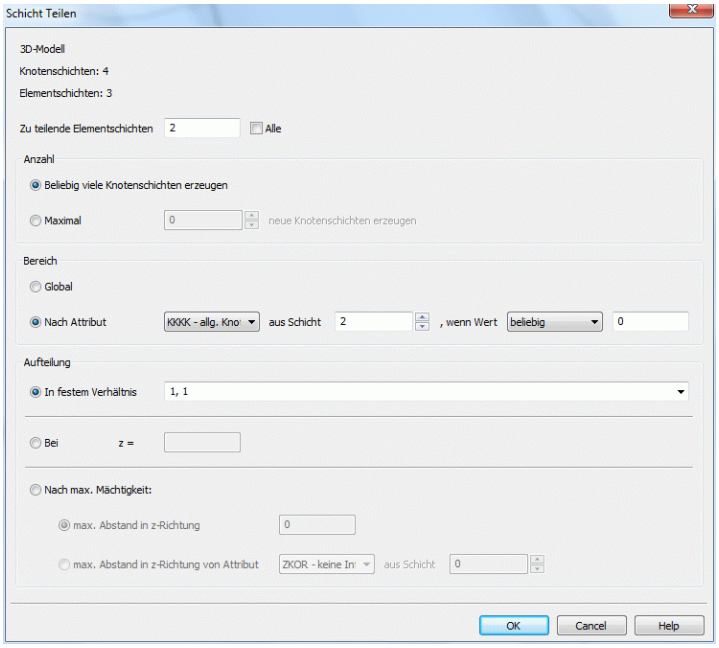


Abb. 139: Schicht teilen für eine lokale vertikale Netzverfeinerung

Zur Veranschaulichung der Schicht-Teilung nach Attributeigenschaften wurde in dem oben erstellten 3D-Modell einer Gruppe von Knoten das Attribut KKKK in der zweiten Elementschicht zugewiesen.

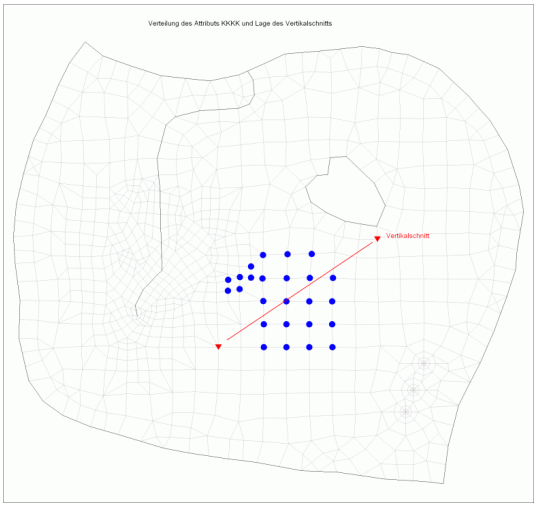


Abb. 140: Horizontale Ansicht der Knoten mit Attribut "KKKK" sowie Lage des Vertikalschnittes

Zuerst muss die Elementschicht festgelegt werden, die geteilt werden soll, da immer nur das Teilen einer einzelnen Schicht möglich ist. Im Beispiel wird Schicht 2 gewählt. Durch die Auswahl von "KKKK" werden die Knoten definiert, an denen nun eine weitere Elementschicht generiert wird. In welcher Form dies geschieht, wird durch Auswahl des Buttons *Teilen in festem Verhältnis, bei z = ?* oder *Teilen nach max. Mächtigkeit* entschieden.

Wird das *Teilungsverhältnis* definiert, ist die Anzahl der neu einzuziehenden Schichten an allen Knoten identisch.

Beim *Teilen nach maximaler Mächtigkeit* wird die Anzahl der neu einzuziehenden Schichten von der jeweiligen Schichtmächtigkeit abhängig gemacht.

Im vorliegenden Beispiel wurde *Teilen in festem Verhältnis* gewählt mit der Eingabe "1, 1". Dies bewirkt eine gleichmäßige Teilung der 2. Elementschicht in 2 Schichten mit der halben Mächtigkeit der Ausgangsschicht.

Nach Speichern des Projekts kann mit *Ansicht → Vertikalschnitt* die neue Schichteinteilung dargestellt werden. Das folgende Bild zeigt das Ergebnis der Schichtteilung:

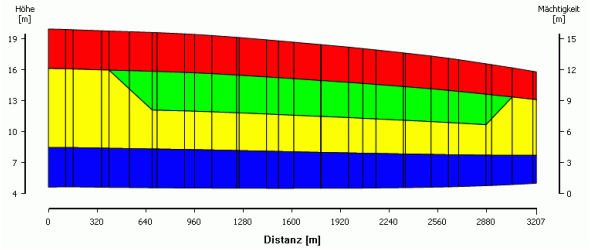


Abb. 141: Lokale vertikale Netzverfeinerung der 2. Elementschicht, wo Attribut "KKKK" vorhanden ist (grüner Bereich)

Falls die gewählten Attribute einer Knotenschicht nur vereinzelt vorkommen, ergibt sich folgender Vertikalschnitt an den Knoten mit dem entsprechenden Attribut (gewählt wurde ein Verhältnis von "1, 3"):

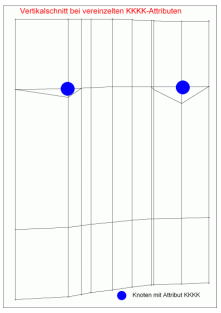


Abb. 142: Lokale vertikale Netzverfeinerung der 2. Elementschicht, wenn Attribut "KKKK" nur vereinzelt vorhanden ist

Das letzte Bild zeigt, dass die Definition über Attributeigenschaften nicht immer sinnvoll ist. Sind auslaufende Schichten in einem 3D-Modell einzubauen, ist meistens eine manuelle Knoten- bzw. Netzbearbeitung anhand vorhandener Bohrprofile und geologischer Aufschlüsse erforderlich.

Das folgende Bild zeigt ein 3D-Modell mit mehreren auslaufenden Schichten, um die Komplexität solcher geologischen Verhältnisse zu verdeutlichen.

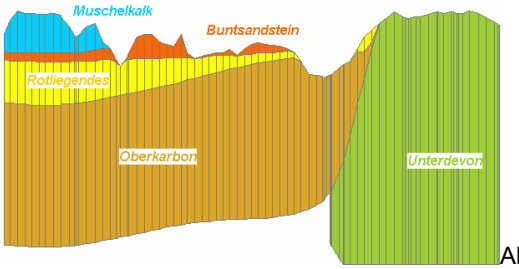


Abb. 143: Auslaufende Schichten bei komplexen geologischen Verhältnissen

5.2.3 Aufbau eines 3D-Teilmodells

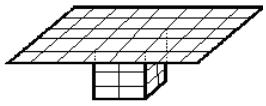


Abb. 144: Beispiel eines Horizontalmodells mit 3D-Teilbereich

5.2.3.1 Theoretische Grundlagen

Die Bereiche des oder der Grundwasserleiter mit ausgeprägt dreidimensionaler Strömung sind häufig von lokalem Charakter (oder haben meist eine relativ kleine Ausdehnung). Bei kleinräumigen Modellen sinnvolle Randbedingungen zu definieren, die durch das lokale Strömungsgeschehen nicht beeinflusst werden, ist meist schwierig. Bei dreidimensionalen Modellen ist die Vergrößerung der Modelle zu sinnvollen Modellgrenzen bezüglich des Speicherplatzes, der Übersichtlichkeit und Rechenzeit teuer.

Die eleganteste Lösung ist in diesen Fällen ein großräumiges 2D-Modell mit einem 3D-Teilgebiet.

Die oben erläuterte automatische Netzgenerierung ist auch hierbei anwendbar. Als zusätzliche Information ist lediglich die Eingabe eines oder mehrerer geschlossener Gebietsränder durch Knotennummern nötig (3DRA). Das Programm erkennt nun die 2D-Elemente innerhalb des 3D-Gebietes und projiziert die entsprechenden Elemente automatisch in die Tiefe.

5.2.3.2 Übergang von 2D-Gebiet auf 3D-Gebiet

Der Übergang zwischen 2D- und 3D-Modellbereichen erfordert besondere Berücksichtigung in der Berechnung.

Die Voraussetzung für ein zweidimensionales Horizontalmodell ist nach der Dupuit-Annahme ausschließlich horizontales Fließen. An der Übergangsstelle zwischen 2D-Modell und 3D-Teilbereich darf also keine Geschwindigkeit in Z-Richtung auftreten.

Eine gute Methode, diese Übergangsbedingung zu definieren, ist das Gleichsetzen der Potentiale über die Höhe. Bei Verwendung der Datenart GLEI wird eine Nebenbedingung für das Gleichungssystem definiert, die die Potentiale (hier: der übereinander liegenden Knoten) auf einen gleichen, vor der Berechnung nicht bekannten Wert setzt.

Anhand des eingegebenen Randes des 3D-Gebiets (3DRA) wird festgestellt, ob ein vollständig dreidimensionales Gebiet gerechnet wird oder ein 3D-Teilgebiet. Da im ersten Fall die 3D-Randknoten gleichzeitig Randknoten des Modells sind, ist das Gleichsetzen nicht möglich. An diesen Knoten müssen Randbedingungen entweder 1. Art (Potential) oder 2. Art (Durchfluss) explizit vorgegeben werden.

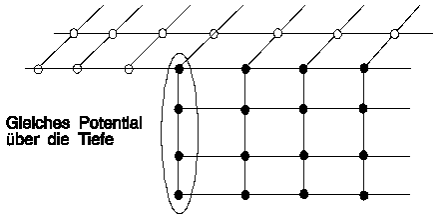


Abb. 145: Übergangsbedingungen vom 2D- zum 3D-Bereich

5.2.3.3 Umsetzung in SPRING

Bei der Umsetzung für das Beispiel wird über *Netz → 3D → Rand → Rand neu erzeugen → 3D-Rand fangen* der dreidimensionale Teilbereich bestimmt. Hierbei müssen alle Randknoten des Teilbereiches „eingefangen“ werden.

Nach Bestätigen des Randes mit der rechten Maustaste muss (wie im Kapitel "3D-Erweiterung über Schichtenanzahl und Teilung (3DSH)" auf S. 216 beschrieben) eine *Neue Schichteinteilung* vorgenommen werden. Gewählt wurde die Eingabe: 1, 3, 2. Das ergibt 3 Schichten mit einer jeweiligen Mächtigkeit von 1/6, 1/2, 1/3.

Über *Ansicht → 3D-Rand* wird der neu definierte 3D-Rand eingeblendet. Über *Layer → Farbe ändern* kann dem 3D-Rand eine andere Farbe (grün), so dass der 3D-Rand deutlicher hervorgehoben wird. Man erhält folgendes Bild:

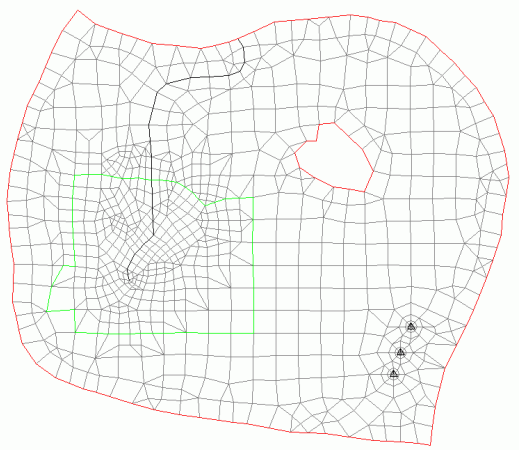


Abb. 146: Darstellung des 3D-Randes in SPRING

Danach müssen den neuen Elementen für eine Strömungsberechnung mindestens die K-Werte zugewiesen werden.

Das Erstellen eines Plots des neuen Modells ist bereits nach der *Modellprüfung* möglich. Das 3D-Teilmodell lässt sich anhand der *Ploterstellung → 3D-Netzplot* visualisieren. Folgende Eingabeparameter wurden definiert:

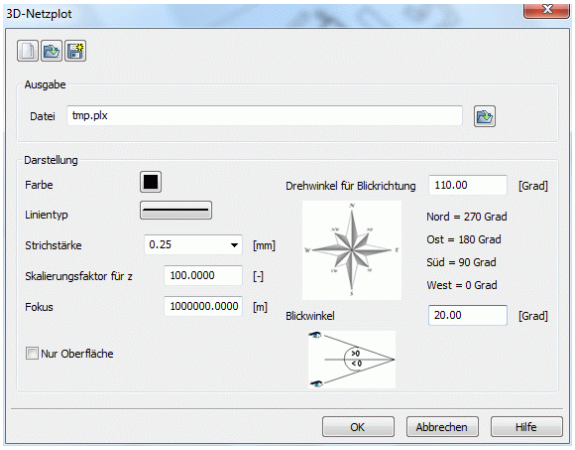


Abb. 147: Parameter für den 3D-Netzplot

Man erhält folgendes Bild des 3D-Teilmodells:

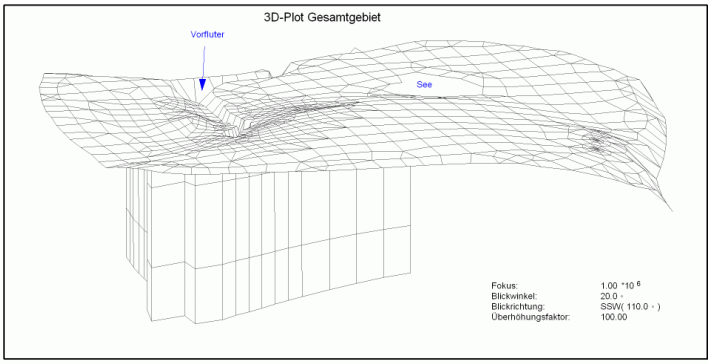


Abb. 148: Netzplot mit 3D-Teilbereich

5.2.3.4 Automatische Nummerierung

Die Nummerierung der Knoten und Elemente in den tieferen Schichten geschieht automatisch. Durch die Verwendung von Indexfeldern sind die Nummern in SPRING beliebig wählbar d.h. es ist keine fortlaufende Nummerierung notwendig. Im Normalfall beträgt der Offset für die 3D-Nummerierung 10.000. Beschränkt man sich auf maximal 9.999 Knoten bzw. Elemente in einer Schicht, kann die automatische Nummerierung durch Addition von 10.000 zu jeder Knoten- und Elementnummer erfolgen.

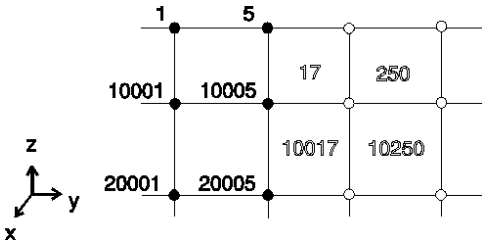


Abb. 149: Beispiel für die Knoten- und Elementnummerierung

Der Vorteil für den Anwender liegt darin, dass er nur einen Netzplan der obersten (bzw. 2D-) Schicht mit Knoten- und Elementnummern zur Identifikation jedes beliebigen Punktes benötigt. Für die n-te Schicht ist lediglich (n-1)*10.000 zur Nummer zu addieren.

Sollte bei einem großen Modell das Offset von 10.000 nicht ausreichen, kann über die Datenart 3DNR in der Netzdatei ein anderer (beliebiger) Wert eingestellt werden. Im Sinne der Übersichtlichkeit sollten möglichst glatte Werte verwendet werden.

5.2.3.5 Automatische Nachbelegung der Daten

Um den Eingabeaufwand so gering wie möglich zu halten, erfolgt während der *Modellprüfung* eine automatische Nachbelegung der meisten erforderlichen Daten. Dabei werden die Daten für eine Schicht mit denen der nächsthöheren Schicht nachbelegt.

Die Vorbelegung erstreckt sich auf folgende Datenarten:

- EICHpotentiale
- Durchlässigkeiten (KWER, KWEV, KFVH)
- Beschränkung der Durchlässigkeiten (KMIN, KMAX)
- Dispersivitäten (DISP)
- Porositäten (PORO)
- Speicherkoeffizienten (SPEI, KSPE)
- Anfangskonzentrationen (AKON)
- Anisotrope K-Werte (Z-KA)
- Kompressibilität des Gesamtsystems (KOMP)

Wenn z.B. bei einem 3D-Modell mit 6 Knotenschichten die Eichpotentiale für die 1. und 3. Knotenschicht in den Netzdateien stehen, erhält die 2. Schicht die Werte der ersten und die 4., 5. und 6. Schichten erhalten die Werte der dritten Schicht.

Werden keine vertikalen K-Werte angegeben und kein Verhältnis zu den horizontalen K-Werten definiert (KFVH), wird das Verhältnis auf den Wert 0.1 gesetzt, d.h. KWEV = 0.1* KWER.

5.2.4 Import eines Teilmodells in das Gesamtmodell

Bei vielen Projekten lautet die Aufgabe, zunächst ein großräumiges Gesamtmodell zu erstellen und später für Detailfragen Teilmodelle auszuschneiden, zu verfeinern und zu bearbeiten. Im Anschluss sollen die Detailergebnisse wieder in das Gesamtmodell importiert werden. Die folgenden Kapitel geben eine Anleitung, welche Arbeitsschritte am Teilmodell und am Gesamtmodell vor und nach dem Rückimport durchzuführen sind.

5.2.4.1 Löschen des Teilmodellgebiets aus dem Gesamtmodell

Im ersten Arbeitsschritt werden die Modellknoten, die innerhalb des Teilmodellrands liegen, aus dem Gesamtmodell gelöscht. Die folgende Abbildung (Abb. 147) zeigt das Gebiet des Teilmodells vor dem Import in das Gesamtmodell.

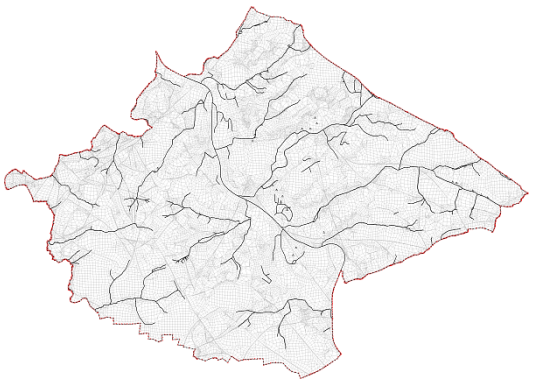


Abb. 150: Modellgebiet des Teilmodells vor der Integration in das Gesamtmodell

Entlang des Außenrands dieses Modells werden die Knoten und Elemente aus dem bestehenden Gesamtmodell entfernt (*Netz → Knoten löschen → Innerhalb selektierter Strukturen* bzw. *Netz → Elemente löschen → Innerhalb selektierter Strukturen*). Die folgende Abbildung (Abb. 148) zeigt das verbleibende Netz des Gesamtmodells.

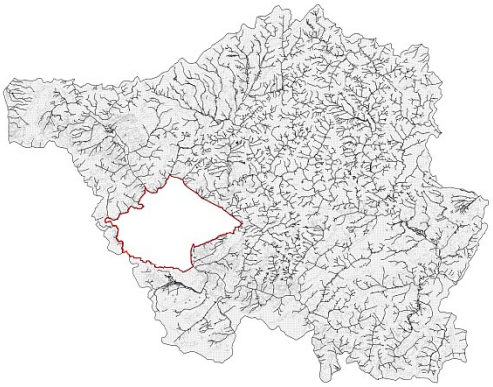


Abb. 151: Aus dem Gesamtmodell entfernter Bereich des Teilmodells (rot umrandet)

Bei konkaven Randverläufen können dabei in Einzelfällen Elemente erhalten bleiben, die auf der Fläche des Teilmodells liegen, also entfernt werden müssen (Abb. 149, cyan unterlegte Elemente, die außerhalb der roten Randlinie liegen). Diese Situation entsteht, weil alle Eckknoten dieser Elemente beim Löschen erhalten bleiben. Diese Elemente sind manuell zu entfernen.

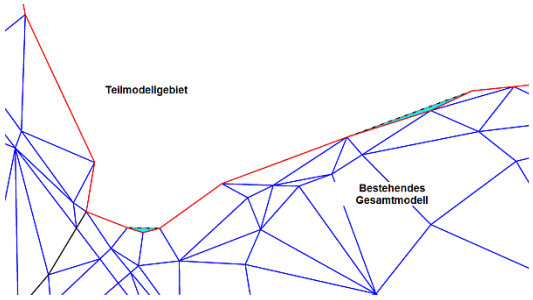


Abb. 152: Beispiel für Elemente, die beim Löschen des Teilmodellgebiets nicht entfernt werden

Ein zweiter Arbeitsschritt besteht darin zu prüfen, ob linienförmige Datenstrukturen (z.B. Gewässerlinien) den ausgeschnittenen Modellrand mehrfach schneiden. Wenn dies der Fall ist, müssen die Linien zwischen dem Punkt, an dem die Linie das verbleibende Modellgebiet verlässt und dem Punkt, an dem sie wieder in das Modellgebiet hineinläuft, aufgetrennt werden. Die folgende Abbildung (Abb. 150) zeigt eine derartige Situation. Das Bild (a) stellt die Ausgangssituation im Gesamtnetz dar. Im Bild (b) wurde das Netz entlang der unterbrochenen roten Linie ausgeschnitten. Dabei verläuft eine blaue Linie aus dem verbleibenden Restnetz heraus und an einer anderen Stelle wieder hinein. Die Stellen, an denen eine derartige Situation auftritt, sind manuell für jede linienbezogene Datenart zu identifizieren und durch Auftrennen dieser Linien zu bereinigen (c). Dieser Schritt ist nicht nur für eine korrekte Darstellung (z.B. Markierungen), sondern beispielsweise auch für eine korrekte Berücksichtigung der linienbezogenen Leakage-Randbedingung erforderlich.

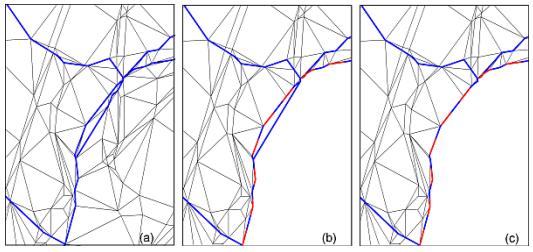


Abb. 153: Korrektur von Liniendaten, die den Rand eines ausgeschnittenen Netzes mehrfach schneiden

5.2.4.2 Horizontale Randanpassung

Da das Netz eines Teilmodells in der Regel für Detailfragen verfeinert wird, ist eine Anpassung der Randknoten zwischen Teil- und Gesamtmodell durchzuführen. Hierzu werden die Randknoten des Teilmodells auf die Randknoten des Gesamtmodells reduziert. Der Vorteil dieser Vorgehensweise ist, dass entweder aus Viereckselementen Dreieckselemente entstehen oder Elemente ganz entfallen. Es ergibt sich in diesem Fall keine Notwendigkeit, ein neues Element zu erstellen, das dann auch neu zu parametrisieren wäre. Die folgende Abbildung verdeutlicht diesen Arbeitsschritt:

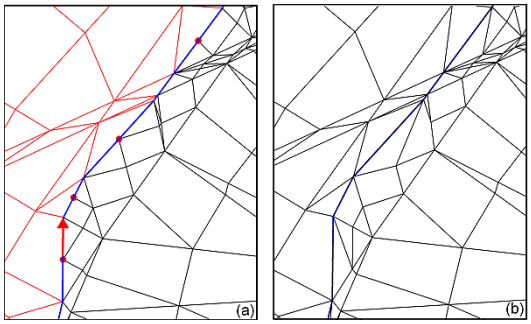


Abb. 154: Anpassung der Randknoten von Teil- und Gesamtmodell

Bild (a) zeigt in schwarz die Elemente des verfeinerten Teilmodells und in rot die Elemente des bestehenden Gesamtmodells. Die blaue Linie markiert den Außenrand des Teilmodells, also die Nahtlinie der beiden zusammenzuführenden Netze. Durch rote Punkte sind diejenigen verfeinerten Randknoten des Teilnetzes markiert, die im Gesamtnetz keine Entsprechung haben. Daher sind diese Knoten vor der Integration der beiden Netze zu eliminieren. Ein reines Löschen dieser Knoten ist nicht sinnvoll, da auch die angrenzenden Elemente gelöscht werden. SPRING unterstützt das manuelle Verschieben von Knoten auf benachbarte Knoten (roter Pfeil). Bei der Menüabfolge *Netz → Knoten → Zusammenlegen → Zwei fangen* wird einer der beiden Knoten und die dabei ggf. entfallenden Elemente automatisch entfernt. Das Bild (b) zeigt die bereinigten Netze.

Bei diesem Arbeitsschritt ist darauf zu achten, dass keine für die numerische Berechnung ungünstigen Elementgeometrien auftreten oder unzulässige Elemente verbleiben (Abb. 152).

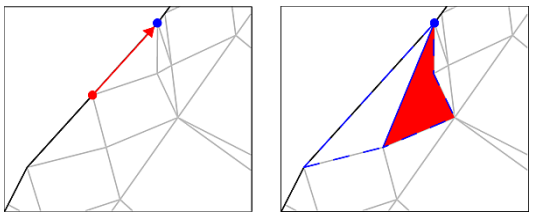


Abb. 155: Beispiel für das Entstehen unzulässiger Elemente bei der Reduktion von Randknoten

Diese Zusammenhänge sind beim Zusammenlegen für jeden einzelnen Knoten zu beachten. In ganz wenigen Einzelfällen, wenn beide möglichen Verschiebungsrichtungen zu unzulässigen Elementen führen, ist eine manuelle Verschiebung einzelner Netzknoten im Modellinneren oder das Teilen von Viereckselementen unumgänglich.

Anmerkung:

Um diesen Arbeitsschritt zu vermeiden, ist es generell zu empfehlen, auf eine Netzverfeinerung an den Randknoten sowohl horizontal als auch vertikal zu verzichten!

5.2.4.3 Vertikale Randanpassung

Je nach Fragestellung und Datenlage kann sich bei der Bearbeitung eines Teilmodells die Notwendigkeit ergeben, Änderungen am Schichtenaufbau des Modells durchzuführen. Die Gründe hierfür können unterschiedlicher Natur sein:

- Neuere Untersuchungen und Bohrergebnisse erfordern eine Veränderung der Tiefenlage von Schichtgrenzen.
- Die Bearbeitung von Detailfragen im Teilmodell erfordert eine differenziertere Betrachtung von einzelnen geologischen Einheiten, wodurch eine weitere Unterteilung bestimmter Modellschichten erforderlich wird.
- Zur korrekten Abbildung z.B. von unvollkommenen Brunnen oder von eingebrachten Bauelementen (Spundwände, Tunnel etc.) ist eine weitere vertikale Unterteilung einzelner Modellschichten notwendig.

Da die durch die vertikale Verfeinerung hinzugekommenen Schichten des Teilmodells im Gesamtmodell keine Entsprechung besitzen, ist beim Rückpflegen des Teilmodells in das Gesamtmodell eine solche Zuordnung zu erstellen. Hierbei sind folgende Fälle zu unterscheiden:

- Im Teilmodell hat keine vertikale Netzveränderung stattgefunden. In diesem Fall stimmen die Randknoten auf der Schnittfläche der beiden Netze überein und die Schichtzuordnung erfolgt bei der Rückkoppelung automatisch korrekt. Teilbild (a) der folgenden Abbildung stellt diese Situation dar.
- Im Teilmodell wurde die Tiefenlage von Schichtgrenzen z.B. aufgrund neuer Bohrdaten verändert. Es wurde aber keine vertikale Netzverfeinerung durchgeführt, d.h. die Zahl der Schichten sowie die Zuordnung zwischen Teil- und Gesamtmodell ist identisch. In diesem Fall führt die Rückkoppelung automatisch

zu einem korrekten Ergebnis. Falls die Höhenlage von Schichtgrenzen auf dem Rand des Teilmodells ebenfalls verändert wurde, führt die Rückkoppelung dennoch zu einem korrekten Ergebnis. Da es eine eindeutige Schichtzuordnung gibt, wird die Tiefenlage der Schichtgrenzen auf der Grenzfläche zwischen den Modellen durch den importierten Modellteil definiert. Das bedeutet, falls man in SPRING zunächst das ausgeschnittene Gesamtnetz öffnet und dann das Teilnetz importiert, wird die Tiefenlage der Randknoten des Teilnetzes in das integrierte Gesamtnetz übernommen. Diese Situation ist im Teilbild (b) dargestellt.

- Eine oder mehrere Schichten im Teilnetz wurden vertikal verfeinert, sei es zur Abbildung eines differenzierteren geologischen Aufbaus oder zur hydraulisch richtigen Berücksichtigung von Maßnahmen (z.B. unvollkommene Brunnen, Vertikalfilterbrunnen, Spundwände, Tunnel etc.). Eine derartige Situation ist im Teilbild (c) schematisch dargestellt. In diesem Fall muss bei der Rückkoppelung der beiden Modellteile eine Schichtzuordnung durchgeführt werden. Im allgemeinen Fall wird die vertikale Verfeinerung bis zum Rand des Teilmodells durchgeführt, und die Tiefenlage der in beiden Modellen vorhandenen Schichtgrenzen hat sich auf dem Rand des Teilmodells verändert. In diesem Fall ist eine automatische Zuordnung der Modellschichten nicht eindeutig möglich.

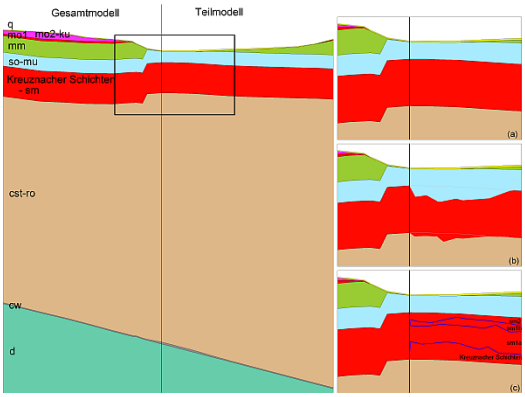


Abb. 156: Zuordnung von Schichten zwischen Teilmodell und Gesamtmodell an der Schnittfläche

Im dritten Fall verändert sich die Anzahl der Schichten im Teilmodell. Die hinzugekommenen Schichtflächen des Teilmodells müssen nach dem Import formal im Gesamtmodell vorhanden sein, d.h. außerhalb des Teilgebiets fallen sie mit bis dahin bereits vorhandenen Schichtflächen geometrisch zusammen. Dies wird beim Import durch die Zuordnung auf den Randknoten des Teilnetzes gesteuert.

Auch wenn diese wegfallenden Schichten bei den Simulationsrechnungen tatsächlich nicht berücksichtigt werden, müssen sie bei der Netzbearbeitung und für die Knoten- und Elementnummerierung stets mitgeführt werden.

Wird also ein weiteres Teilmodell in ein Gesamtmodell importiert, in dem aufgrund eines früheren Imports eine vertikal verfeinerte Schicht bereits existiert, sollten möglichst viele der bereits vorhandenen zusammenfallenden Schichtflächen genutzt werden.

Fazit: Generell sollte die Verfeinerung der Schichten des Teilmodells nicht bis zum Modellrand durchgeführt werden. Dadurch lässt sich die Tiefenlage der hinzugekommenen Schichtgrenzen zum Modellrand hin sinnvoll auf die Schichtgrenzen des Gesamtmodells zurückführen.

5.2.4.4 Einbau des Teilmodells in das Gesamtmodell

In den bisherigen Arbeitsschritten wurde sichergestellt, dass die Randknoten des Teilmodells geometrisch mit den inneren Randknoten des Gesamtmodells übereinstimmen. Nun wird die Attributierung der Randknoten des Teilmodells im Hinblick auf die Wirkung im zusammengeführten Modell untersucht:

- Auf den Randknoten des Teilmodells ist der aus dem Gesamtmodell ermittelte Fluss über den Modellrand vorgegeben. Diese Randbedingungen sind aus dem Teilmodell zu entfernen, da ansonsten nicht vorhandene Zu- oder Abflüsse simuliert werden.
- Formal ist auch für das Teilmodell zu prüfen, ob Liniendaten über den Rand hinauslaufen.
- Ferner ist zu prüfen, ob gleiche Attribute auf sich entsprechenden Knoten im Teil- wie im Gesamtmodell definiert sind. Bei Datenarten, die nur einmal auf einem Knoten vorhanden sein können, ist dieser Schritt von untergeordneter Bedeutung, da in diesem Fall der Wert des importierten Netzes den bereits vorhandenen Wert des Ausgangsnetzes überschreibt.
- Bei Attributen, die mehrfach auf einem Knoten erlaubt sind (z.B. linienbezogene Leakage-Koeffizienten), ist das entsprechende Attribut in einem der beiden Netze zu entfernen. Sonst hat z.B. ein Vorfluter, der auf dem Rand verläuft, nach der Integration des Teilmodells eine doppelte Leakage-Wirkung. Dies muss im Sinne der Datenkonsistenz in jedem Fall vermieden werden.

- Es ist vorteilhaft, sich einen Überblick über die vorhandenen Attribute auf den zusammenfallenden Rändern zu schaffen, um vorliegende Widersprüche zu erkennen und die Ursache klären zu können, bevor bestimmte Daten auf dem Gesamtnetz endgültig verloren gehen.

Sind die Knoten der zusammenfallenden Ränder in den beiden Modellen sowohl in Bezug auf die geometrische Lage als auch auf die Attributierung bereinigt, werden die Modelle mit SPRING zusammengeführt.

Folgende Strategie ist dabei vorteilhaft:

Zunächst wird das Netz des Gesamtmodells geöffnet, aus dem der Bereich des Teilmodells entfernt ist. In dieses wird dann das Netz des Teilmodells importiert (*Datei → Importieren → Teilnetz...*). Falls bei diesem Import ein Attribut auf einem Randknoten bereits definiert ist, überschreibt der Wert aus dem Teilmodell den vorhandenen Wert aus dem Gesamtmodell. Da das Teilmodell in der Regel auf dem neueren Stand ist, ist diese Zuordnung wünschenswert.

Falls Knoten- und Elementnummern in einem der Modellteile unverändert erhalten bleiben sollen, ist dieser Modellteil in jedem Fall zuerst einzulesen und dann der andere Teil zu importieren, da die Knotennummerierung des importierten Teils geändert wird.

Wird zuerst das Teilmodell geöffnet und das Gesamtmodell importiert, ist der 3D-Rand neu zu berechnen (*Netz → 3D → 3D-Rand → Netzrand=3D-Rand*).

Nach Speichern des integrierten Modells existiert ein neues Modellnetz ohne innere Ränder.

5.2.4.5 Durchführung von Konsistenz- und Plausibilitätsprüfungen

5.2.4.5.1 Geometrie- und Datenkontrollen

Nach dem Import des Teilmodells ist es sinnvoll, das integrierte Netz einer Geometrie-Kontrolle zu unterziehen (*Netz → Kontrollen...*). Treten Netzfehler auf, ist dies in der Regel darauf zurückzuführen, dass einer der oben beschriebenen Schritte nicht korrekt durchgeführt wurde.

Die häufigste Fehlerquelle resultiert daraus, dass zwei Knoten auf dem inneren Rand nicht exakt zusammenfallen und damit nicht als ein Knoten im integrierten Netz erkannt werden. Besonders bei großen Netzten kann es auch vorkommen, dass ein Randknoten des verfeinerten Netzes bei der manuellen Korrektur nicht entfernt wurde. Dieser liegt dann auf dem Modellrand des einen Netzes, hat aber keine Entsprechung in dem anderen. Diese Stellen werden durch die Geometriekontrollen erkannt und können dann korrigiert werden.

Es hat sich bewährt, die aufgetretenen Fehler in den jeweiligen Netzen zu korrigieren und den Import anschließend erneut durchzuführen. Dadurch ergeben sich zwei intakte Ausgangsnetze. Vorteil dieser Methode ist, dass das detaillierte Teilnetz auch für spätere Betrachtungen weiter genutzt werden kann und ein erneuter Import in das Gesamtnetz mit vermindertem Aufwand möglich ist. Für eine erneute Simulation mit dem Teilmodell ist zu beachten, dass die bereits gelöschte Mengenrandbedingung neu zu ermitteln und zuzuweisen ist.

Die vorlaufende Modellprüfung (*Berechnung → Modellprüfung*) gibt ggf. Hinweise auf Inkonsistenzen in den Modelldaten, die bei der reinen Geometriekontrolle nicht erkennbar sind. Werden hier keine relevanten Datenfehler erkannt, kann die eigentliche Modellrechnung durchgeführt werden.

5.2.4.5.2 Vergleich der Berechnungsergebnisse

Im nächsten Schritt wird mit dem geometrisch korrekten Gesamtnetz eine Modellrechnung durchgeführt. Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, ist darauf zu achten, dass bei der Berechnung des Teilmodells und des Gesamtmodells die gleiche Programm-/Parameterkombination verwendet wird.

Die Plausibilitätsprüfung erfolgt über den Vergleich der Grundwassergleichen der berechneten freien Grundwasseroberfläche des integrierten Gesamtmodells mit denen, die mit dem alten Gesamtmodell sowie dem Teilmodell berechnet wurden.

Erwartungsgemäß werden Unterschiede in einer Zone um den Modellrand des Teilgebiets auftreten. Da die Nachkalibrierung eines Teilmodells in der Regel nicht auf das Modellinnere beschränkt bleibt, ergeben sich Veränderungen in der Strömungssituation, die auch einen Einfluss auf den Modellrand haben.

Der aus dem alten Gesamtmodell ermittelte und im Teilmodell als Randbedingung konstant gehaltene Randfluss führt unter den im Laufe der Teilmodell-Kalibrierung durchgeführten Anpassungen auch zu Veränderungen der Grundwasserstände im Randbereich. Bei der Berechnung mit dem integrierten Gesamtmodell entfällt nun der Zwang durch die vorgegebene Randbedingung und das Modell kann einen Ausgleich zwischen der Situation im Gesamtraum und der neuen Situation im verbesserten Teilmodellraum schaffen.

Eine bilanzierende Gegenüberstellung der als Randbedingung vorgegebenen Randflüsse des Teilmodells mit den Mengen, die im integrierten Gesamtmodell über diese Fläche fließen, kann ebenfalls durchgeführt werden.

5.2.4.6 Hinweise und Empfehlungen

In einem großräumigen Prinzipmodell lassen sich Detailfragen nicht immer effizient und wirtschaftlich bearbeiten. Durch die Größe des Modells entstehen hohe Rechenzeiten und die Diskretisierung ist häufig nicht fein genug.

Ein Lösungsweg besteht darin, den interessierenden Bereich als Teilgebiet abzutrennen und erst dann verfeinert zu betrachten. Die Kopplung des Teilmodells an das Gesamtmodell geschieht durch die Vorgabe von Randbedingungen, in der Regel durch Massenflüsse. Die Vorteile dieser Vorgehensweise lassen sich in folgenden Punkten zusammenfassen:

- Große Flexibilität der Teilgebietsabgrenzung
- Netzänderungen und das Variieren von Parametern können effizient gehandhabt werden.

Um den Einfluss der Modellanpassungen im Inneren des Teilgebiets auf die Randbedingungen gering zu halten, sollten die Grenzen des Teilgebiets weitab vom Untersuchungsbereich definiert werden. Bei der Festlegung des Randes ist außerdem auf folgende Kriterien zu achten:

- Ränder so weit wie möglich entlang von Stromlinien definieren,
- ausreichende Entfernung von Grundwasserentnahmen,
- keine offenen Wasserflächen auf dem Rand,
- der Modellrand des Teilmodells muss stets auf Elementkanten des Gesamtmodells liegen, es dürfen keine Viereckselemente zerschnitten werden,
- das Teilmodellgebiet muss groß genug sein, damit Veränderungen, die im Übergangsbereich zwischen Teil- und Gesamtmodell bei der Rückpflege i.d.R. nicht vollständig vermeidbar sind, keinen Einfluss auf die Ergebnisse des zentralen Aussagebereichs des Teilmodells haben.
- Um eine reibungslose Rückpflege eines bearbeiteten Teilmodells in das Gesamtmodell zu ermöglichen, muss der Modellrand des Teilmodells nach dem Ausschneiden geometrisch unverändert bleiben. Er darf weder horizontal noch vertikal verfeinert werden. Wird diese Bedingung nicht beachtet, entsteht bei der Rückpflege nicht nur ein zusätzlicher Arbeitsaufwand durch die Notwendigkeit einer Randknotenbereinigung, sondern auch ein interpretativer Aufwand im Fall einer vertikalen Verfeinerung. In diesem Fall ist nämlich zu entscheiden, wie die verfeinerten Schichten mit den Schichten des Gesamtmodells zu korrelieren sind. Vertikale Netzverfeinerungen, die sich auf lokale Erfordernisse beziehen (z.B. Einbau von Spundwänden, Tunnelbauwerke, Brunnen oder lokal verbreitete hydrogeologische Inhomogenitäten) sollten generell nur im Umfeld des betroffenen Teilbereichs durchgeführt werden.
- Das Teilmodell sollte stets mit dem gleichen Programmmodul berechnet werden, wie das Gesamtmodell. Außerdem sollten Berechnungsparameter, wie die Zahl der Iterationsschritte oder der Dämpfungsfaktor beibehalten werden.

5.2.5 Erzeugen von Klüften in einem 3D-Netz

Mit dem Menüpunkt *Extras → Klüfte → 2D-Klüfte aus LERAs* lassen sich senkrechte und waagerechte Klüfte in ein 3D-Modell einfügen. Zugrunde liegt das Python-Script "lera2kluft.py", welches nach Anklicken dieses Menüpunktes automatisch ausgeführt wird. Wenn die Datenart LERA (Leakage für einen Polygonzug) vorhanden ist, werden die 2D-Klüfte mit ihren Öffnungsweiten in die *.3d-Datei des Modells geschrieben. Die Öffnungsweiten entsprechen den Werten des jeweiligen LERA-Bereiches und müssen anschließend noch vom Anwender mit den passenden Werten belegt werden.

5.2.5.1 Attribut LERA zuweisen

Jeder zukünftigen Kluftlinie wird das Attribut LERA zugewiesen. Am einfachsten lassen sich die Klüfte anschließend wieder finden, wenn man sie durchnummeriert und der Wert des entsprechenden LERA-Attributs diese Nummer wiedergibt. Sinnvollerweise sollten vorher alle LERA-Attribute, die nicht zur Kluftgenerierung dienen, entfernt bzw. als andere Datenart gespeichert werden.

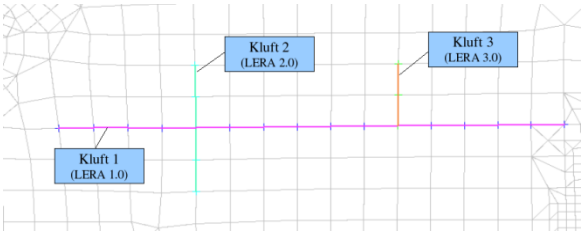


Abb. 157: Abbilden des Kluftsystems als LERA-Attribute

5.2.5.2 Ausgabe der Klüfte in *.3d-Datei bearbeiten

Nach Ausführen des Menüpunktes befinden sich die so generierten 2D-Klüfte (Attribut 2DEL) in der *.3d-Datei des Modells.

Die Kluftöffnungsweiten sind noch anzupassen (Datenart 2DBR), indem das Attribut 2DBR mit den tatsächlichen Kluftöffnungsweiten belegt wird.

Da die LERA-Attribute nur als Hilfsattribute gebraucht wurden, sollten sie nach erneutem Start von SPRING wieder gelöscht und gegebenenfalls vorher vorhandene LERA-Attribute wieder zugewiesen werden.

5.3 Aufbau eines instationären Transportmodells

Die zum Nachrechnen benötigten Dateien stehen auf unserer Homepage zum Download bereit unter Download&Support: Tutorial (DE): Tutorial_bsp_files.zip (), Verzeichnis "Transport_2d".

Die Zip-Datei beinhaltet eine Netzdatei, die instationäre Eingabedatei "instat_RB.txt", die Datei "sitr" und die passende Batchdatei "sitra.bsi" für eine instationäre Transportberechnung.

In diesem Kapitel werden die modelltechnischen Schritte vorgestellt, die zur Erstellung eines instationären Transportmodells erforderlich sind. Ein Grundwassermodell wird zu einem Stofftransportmodell, sobald Stoffkonzentrationen als Attribute vorliegen (Attribute 1KON, AKON oder KONZ).

5.3.1 Modellbeschreibung

Bei dem Modell handelt es sich um einen homogenen, isotropen und gespannten Grundwasserleiter. Gesucht ist die Ausbreitung des Schadstoffs über die Zeit. Die Länge des Modells beträgt L = 300 m, und es hat eine Breite von B = 100 m. Das Beispielmodell soll des Weiteren folgende Eigenschaften aufweisen:

Durchlässigkeitsbeiwert	$k_f = 5*10^{-4}$ m/s	KWER
Mächtigkeit	m = 18 m	MAEC
Porosität	$n_e = 0.2$	PORO
Dispersivitäten	$\alpha_L = 7$ m $\alpha_T = 0.7$ m	DISP (sitr-Parameter)
Anfangspotentiale	$H_l = 36.0$ m $H_r = 30.0$ m	POTE
Schadstoffkonzentration	$c_0 = 240$ mg/m^3	1KON
Verzögerungsfaktor	R = 1	-
Abbaukonstante	$\lambda = 0$	-

Der Schadstoffeintrag erfolgt permanent und konstant. Der Ort des Eintrags liegt am Modellrand (Knotennr. 156), deswegen wurde dort eine besonders feine Diskretisierung gewählt.

Das folgende Bild zeigt das Modellnetz mit der Schadstoffquelle:

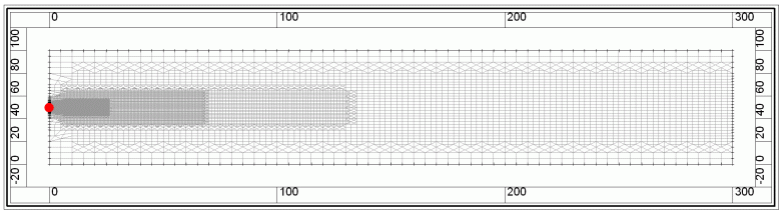


Abb. 158: FE-Modell mit Schadstoffquelle

5.3.2 Notwendige Angaben für den Stofftransport

Rand- und Anfangsbedingungen

- Feste Konzentrationen: Attribut 1KON, Randbedingung 1. Art, gibt eine feste Konzentration vor. Im Beispiel ist die Wahl dieser Randbedingung erforderlich, um die permanente konstante Schadstoffquelle darzustellen.
- Zufluss-Konzentrationen: Attribut KONZ[kg/kg]: Mit der Datenart KONZ können eingegebenen Zuflüssen (aus KNOT, FLAE, RAND, RANQ, RANX) und berechneten Zuflussmengen (Leakagemengen, Reaktionsmengen aus festen Potentialen) Konzentrationen (knotenweise) zugeordnet werden. Beispiel: In der Oberfläche einer Deponie befindet sich eine bekannte Menge an Schadstoff (KONZ), der aber erst durch eine bestimmte Menge Niederschlag (FLAE) gelöst wird.

- Anfangskonzentration: Attribut AKON[kg/kg]: Hiermit wird ein Anfangszustand (knotenweise) für eine instationäre Berechnung festgelegt. AKON funktioniert analog zu den Anfangs-Potentialen (EICH) der Strömungsberechnung.

Materialkennwerte

- Porosität: Wenn die Porosität PORO in der Netzdatei nicht explizit angegeben wird, wird mit dem voreingestellten Wert PORO = 0.2 gerechnet.
- Dispersivität: Die longitudinale Dispersivität α_L kann zusammen mit der transversalen Dispersivität α_T im Menü der *Stofftransportberechnung* unter "Erweitert“ → "Transport" explizit eingegeben werden.

Das folgende Eingabefenster zeigt die möglichen Eingaben in den erweiterten Einstellungen des Stofftransports:

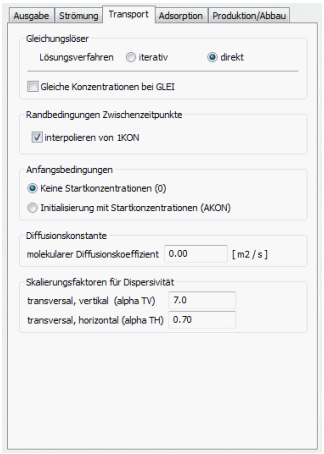


Abb. 159: Stofftransport-Parameter

Die Attribute 1KON (oder KONZ), DISP und PORO sind **notwendig** für eine Transportberechnung.

5.3.3 Instationäre Eingaben für den Stofftransport

Nach der *Modellprüfung* erfolgt die Berechnung des *Stofftransports*. Es erscheint folgendes Eingabefenster:

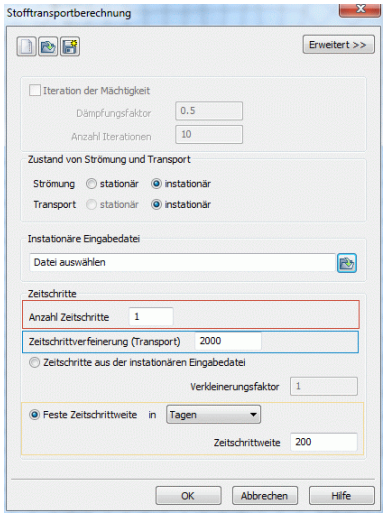


Abb. 160: Instationäre Parameter (2D)

Erläuterungen zu den eingegebenen Zeitschrittweiten:

Rote Markierung: Die Anzahl Zeitschritte, hier 1, bestimmt die Gesamtdauer der Transportberechnung. Gesamtdauer = Anzahl Zeitschritte * Zeitschrittweite (hier: 200 Tage).

Blaue Markierung: Zeitschrittverfeinerung, gibt die Unterteilung der Zeitschrittweite in Zeitschritte der Transportberechnung an (hier: 200 Tage/ 2000 = 1/10 Tag).

Gelbe Markierung: Die Zeitschrittweite gibt die Dauer eines Zeitschrittes der zugrunde liegenden Strömungsberechnung an.

Die mengenbezogenen Ergebnisse werden zu den gleichen Zeitschritten, an denen auch die Potentiale in den Hintergrunddateien gesichert werden, gespeichert ("Erweitert“ → Ausgabe):

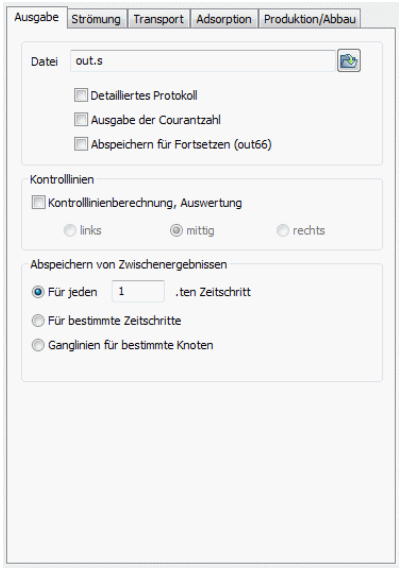


Abb. 161: Ausgabe-Parameter

Nach Durchführung der *Modellprüfung, Strömungsberechnung* und *Ploterstellung* erhält man folgende Konzentrationsverteilung nach 200 Tagen:

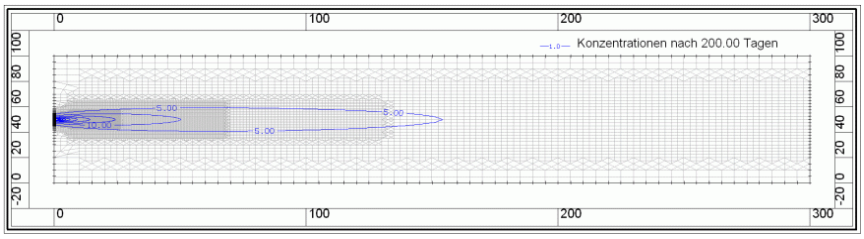


Abb. 162: Konzentrationsverteilung nach 200 Tagen, Isolinien im Intervall 5 bis 50 mg/m^3 mit einem Abstand von 5 mg/m^3

5.3.4 Transport bei invertierter Strömung

Das Vorgehen "Transport bei invertierter Strömung" wird im Kapitel "How To - Einzugsgebiete" auf S. **332** behandelt.

5.4 Aufbau eines 3D-Vertikalmodells

Bei einem Vertikalmodell liegen die geometrisch zu erfassenden Elemente im Unterschied zu einem Horizontalmodell in der Vertikalen. Der Aufbau eines Vertikalmodells erfolgt jedoch nach den gleichen Regeln wie der eines Horizontalmodells. Typische Beispiele für die Anwendung eines Vertikalmodells sind Staudämme, Staumauern von Talsperren oder eine strömungsrelevante Betrachtung von Tunnel- oder Leitungsquerschnitten in der Vertikalen.

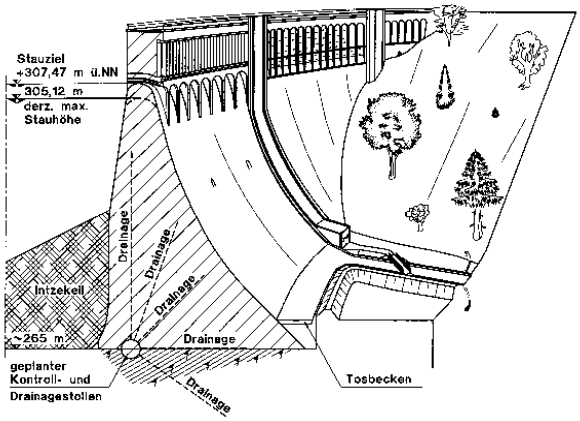


Abb. 163: Querschnitt einer Staumauer

Die Diskretisierung dieser Staumauer als zweidimensionales Vertikalmodell in SPRING sieht folgendermaßen aus:

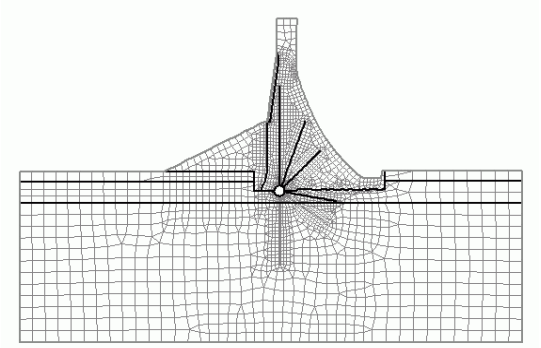


Abb. 164: Diskretisierung eines Vertikalmodells in SPRING

Zur Erzeugung des 3D-Netzes wird das 2D-Netz in die dritte Dimension ("nach hinten") projiziert:

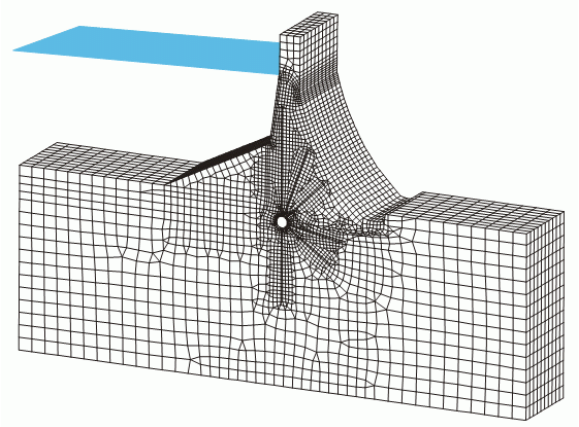


Abb. 165: Diskretisierung eines vertikalen 3D-Modell (Modelltyp V-3D)

Die zugehörigen Randbedingungen sehen im vorliegenden Fall so aus:

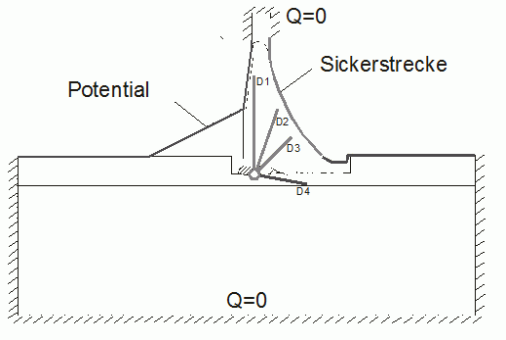


Abb. 166: Randbedingungen einer Staumauer

5.4.1 Besonderheiten im 2D-Vertikalmodell

Im Vertikalmodell bezeichnet die X-Koordinate die Position auf der Schnittlinie. Die Y-Koordinate beschreibt die Lagehöhe. Die Angabe einer flächenhaften Neubildung (Attribut FLAE) macht bei diesem Modelltyp keinen Sinn, stattdessen werden die Attribute RAND oder RANX verwendet. Die Mächtigkeit (MAEC) beschreibt die Tiefenlage senkrecht zum Vertikalnetz.

Die beiden folgenden Abbildungen zeigen, wie die Koordinatensysteme in der Realität (links) und in SPRING im Vertikalmodell (rechts) definiert sind:

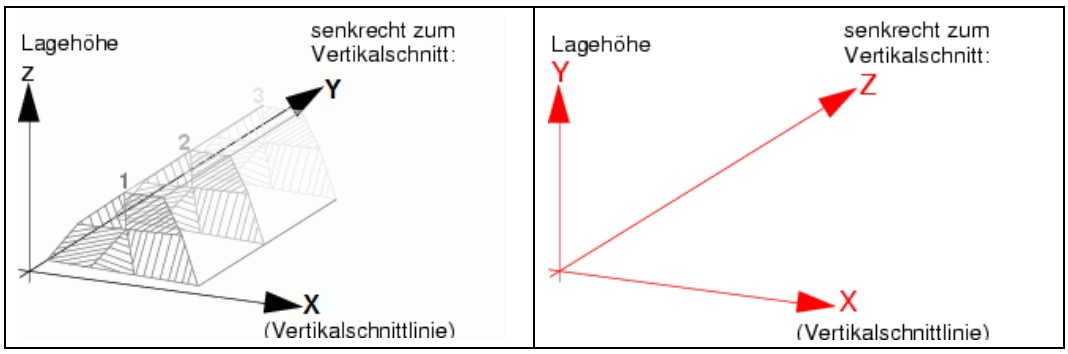


Abb. 167: Koordinatensystem in der Realität (links) und im Vertikalmodell in SPRING (rechts)

5.4.1.1 Erstellen eines 2D-Vertikalmodells aus einem bestehenden 3D-Modell

IN SPRING besteht die Möglichkeit, ein 2D-Vertikalmodell aus einem vorhandenen 3D-Horizontalnetz zu "extrahieren". Dazu werden die Hintergrunddateien des 3D-Modells sowie eine bereits erstellte *name.bpl*-Datei eines Vertikalschnitts passend zum Modell benötigt. Daraus werden die Informationen über die Knotenkoordinaten entnommen. In einer DOS-Shell kann mit dem Befehl:

plogeo -mesh name.bpl

das 2D-Vertikalnetz erstellt werden. Durch Zuweisen des Attributes MAEC und der eventuell erforderlichen neuen Zuweisung der strömungsrelevanten Attribute entsteht dann ein vollständiges 2D-Vertikalmodell.

5.4.2 Erweiterung ins Dreidimensionale

Senkrecht zur Schnittfläche wird das 2D-Vertikalmodell in die dritte Dimension erweitert. Dann wird die Mächtigkeit in 3D-Schichten unterteilt (*Netz →3D →Schicht teilen...*), so dass die Z-Koordinate (Attribut ZKOR) die Tiefenlage darstellt. Im Gegensatz zu 3D-Horizontalmodellen liegen die Z-Koordinaten der Knotenschichten im 3D-Vertikalmodell nicht über- sondern nebeneinander.

Daraus ergibt sich, dass die Z-Koordinaten im 3D-Vertikalmodell von oben nach unten größer werden, während sie in einem 3D-Horizontalmodell mit zunehmender Schichtnummer kleiner werden.

Beispiel 3D-Vertikalmodell: GELA (= 0.0), ZKOR2 = 1.0, ZKOR3 = 2.0, ZKOR4 = 4.0, usw. Eine Nicht-Beachtung dieser Anordnung führt zu einem Fehler in der Berechnung!

Die beiden folgenden Abbildungen zeigen die unterschiedliche Schichtanordnung sowie das zugehörige Koordinatensystem:

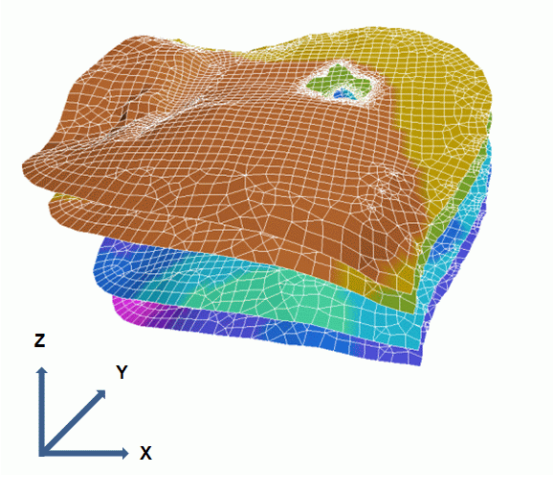


Abb. 168: Schichtung und Koordinatenachsen im 3D-Horizontalmodell

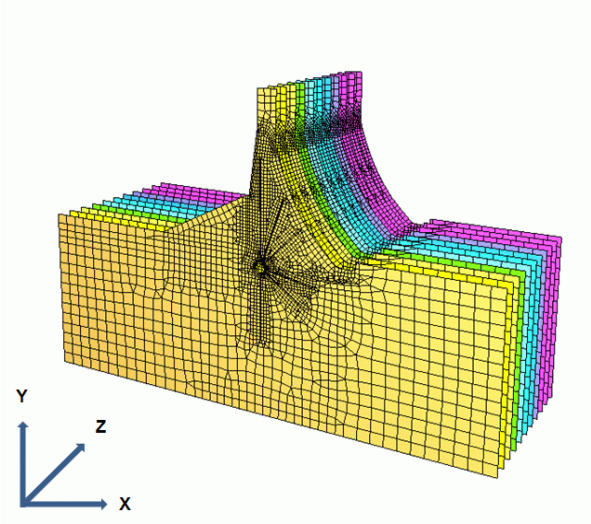


Abb. 169: Schichtung und Koordinatenachsen im 3D-Vertikalmodell

Die erste Knotenschicht der Z-Koordinaten (= GELA) liegt auf der Vertikalschnittlinie und hat den Wert GELA = 0.0. Nach Abspeichern des fertigen 3D-Vertikalmodells ist mit einem beliebigen Editor in der Modelldatei die Kennung des Modelltyps auf "V-3D" zu setzen. Dies ist erforderlich, da nur der Anwender (und nicht die Software) entscheiden kann, ob es sich um ein 3D-Horizontalmodell oder um ein 3D-Vertikalmodell handelt. Da ein 3D-Vertikalmodell eine sehr spezielle Anwendung ist, erfolgt beim Speichern eines 3D-Modells keine Abfrage, um welchen Modelltyp es sich handelt. Diese manuelle Änderung des Modelltyps ist nur einmal nötig.

5.4.3 Darstellung von Schnitten in einem 3D-Vertikalmodell

Die übliche Darstellung von Daten und FE-Netz erfolgt bei 3D-Modellen in einer horizontalen Draufsicht/Kartenerstellung oder durch eine vertikale Ansicht/Profildarstellung (→ Ploterstellung). Diese gestalten sich bei 3D-Vertikalmodellen in SPRING wie folgt:

5.4.3.1 Draufsicht/Kartenerstellung im 3D-Vertikalmodell

Will man in einem 3D-Vertikalmodell die Daten einer tieferliegenden Schicht darstellen, entspricht dies der Draufsicht ("Horizontalschnitt") in einem 3D-Horizontalmodell. Das FE-Netz ist in solchen Schnitten identisch!

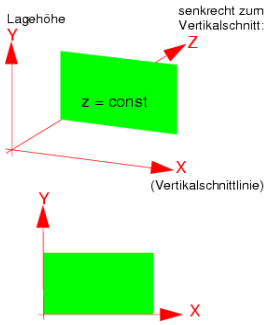


Abb. 170: Schnitt parallel zur X-Achse

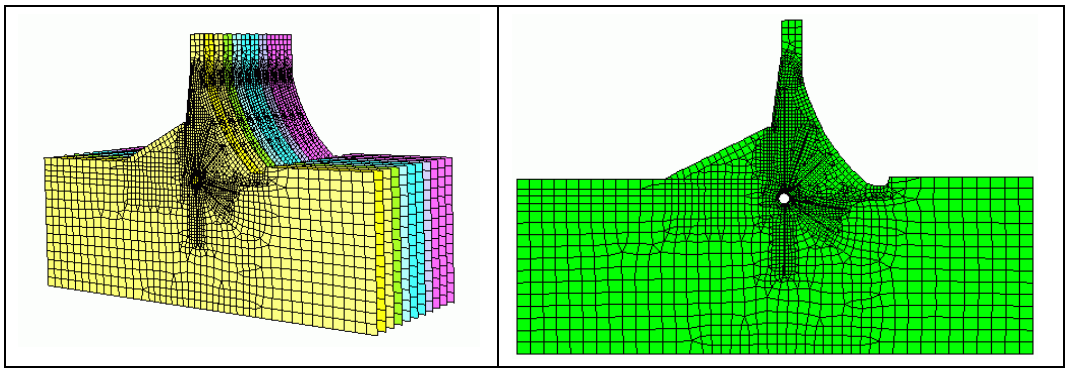


Abb. 171: Schnitt parallel zur X-Achse in SPRING

Die Angabe der Schichtnummer "4" in der *Ploterstellung → Draufsicht/Kartenerstellung* (grüne Schicht in der linken Abbildung) ergibt die Draufsicht auf die Daten der 4.Schicht in der Koordinatenebene X-Y (Abbildung rechts).

5.4.3.2 Ansicht/Profildarstellung im 3D-Vertikalmodell

Will man in einem 3D-Vertikalmodell einen Schnitt in der X-Z- bzw. Y-Z-Ebene erstellen, entspricht dies der Ansicht ("Vertikalschnitt") in einem 3D-Horizontalmodell. Welche Koordinatenebene dargestellt wird, ergibt sich allein durch die Lage der vom Anwender zu definierenden Schnittlinie.

Ein Schnitt in der X-Z-Ebene sieht theoretisch folgendermaßen aus:

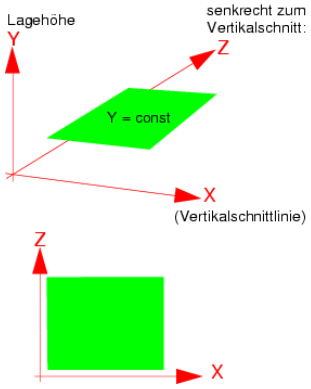


Abb. 172: Darstellung in der X-Z-Ebene

Die Umsetzung in SPRING erfolgt in der *Ploterstellung → Ansicht/Profildarstellung* durch Auswahl einer Schnittlinie, die etwa parallel zur X-Achse verläuft (grüne Linie in der oberen Abbildung). Das Ergebnis (untere Abbildung) ist eine Darstellung der Daten (hier: Z-Koordinaten von 0 bis 2m) in der X-Z-Ebene ("Blick von oben auf die Staumauer").

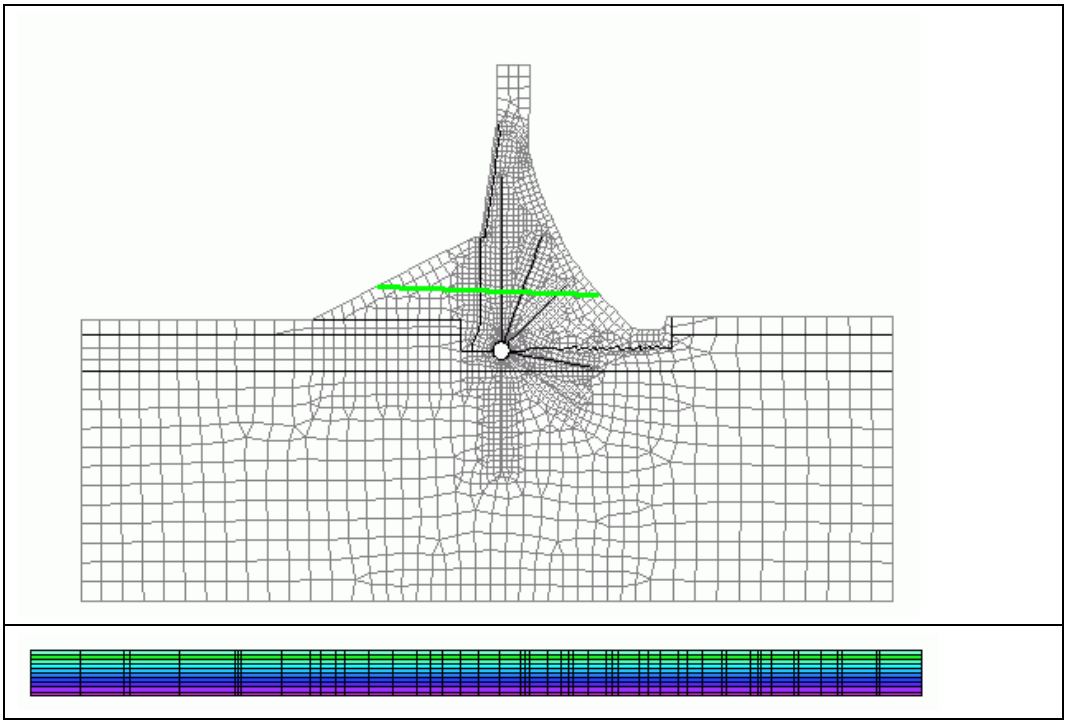


Abb. 173: Darstellung in der X-Z-Ebene in SPRING

Ein Schnitt in der Y-Z-Ebene sieht theoretisch folgendermaßen aus

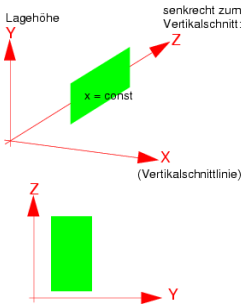


Abb. 174: Darstellung in der Y-Z-Ebene

Die Umsetzung in SPRING erfolgt in der *Ploterstellung* → *Ansicht/Profildarstellung* durch Auswahl einer Schnittlinie, die etwa senkrecht zur X-Achse verläuft (grüne Linie in der linken Abbildung). Das Ergebnis (rechte Abbildung) ist eine Darstellung der Daten (hier: K-Werte) in der Y-Z-Ebene ("Blick von rechts auf die Staumauer"). Zur besseren Vorstellung wurde der resultierende Plot um 90° nach links gedreht.

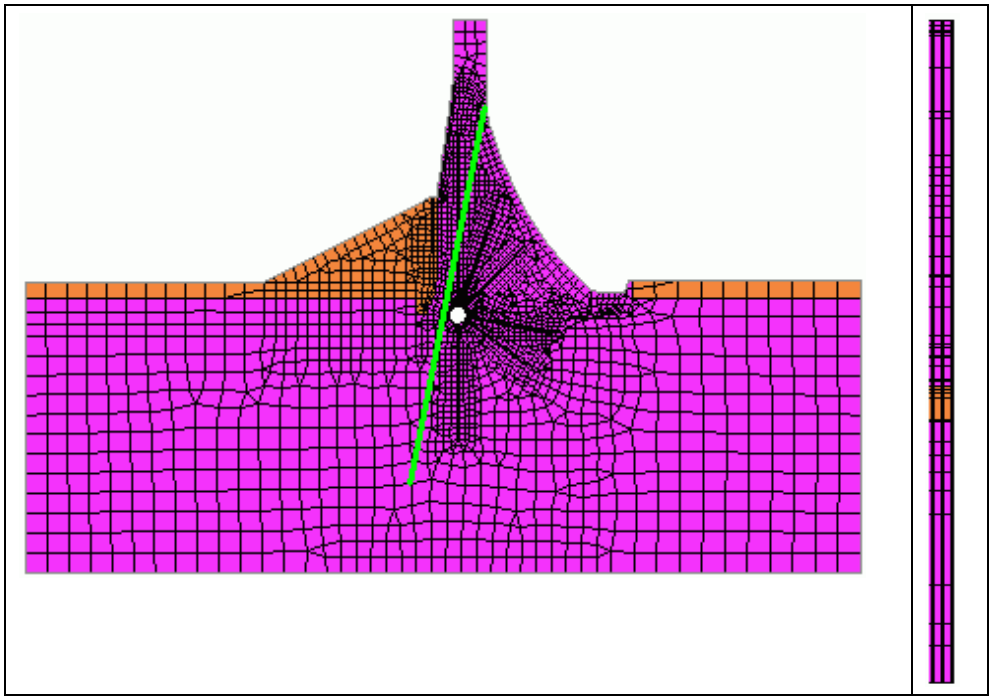


Abb. 175: Darstellung in der Y-Z-Ebene in SPRING

5.4.4 Besonderheiten in der Ploterstellung

Bei der Darstellung von Modell- und Ergebnisdaten eines 3D-Vertikalmodells ist die unterschiedliche Zuordnung der Koordinatenachsen zu beachten. Zudem werden nicht alle Schnitte so dargestellt, wie intuitiv vielleicht erwartet wird.

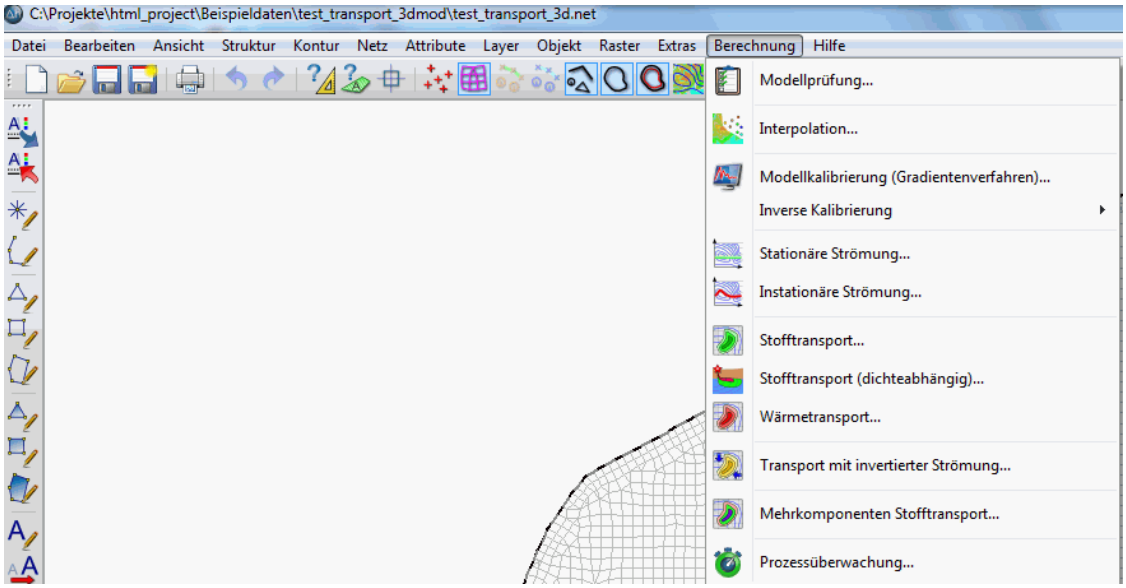
Da die sonst übliche Darstellung der freien Oberfläche im Ploterstellungsmenü bei einem 3D-Vertikalmodell nicht sinnvoll ist, erfordert die Darstellung der freien Oberfläche in einem 3D-Vertikalmodell einen Umweg über folgendes Verfahren:

- Die Y-Koordinaten (= Lagehöhe) werden auf das Attribut KKKK gespeichert (*Attribute → kopieren → Attributweise...*).
- Dann wird das Attribut KKKK von den berechneten Potentialen (*Attribute → Modelldaten/Berechnungsergebnisse importieren...*) subtrahiert und auf einem beliebigen Knotenattribut abgespeichert (*Attribute → Berechnen → Attribute verrechnen...*). Die freie Oberfläche ergibt sich als Isoliniendarstellung dieses Attributs mit Wert = 0.0.
- Ein Ausblenden von Ergebnissen oberhalb der freien Oberfläche ist nicht möglich.

6 Berechnungen

In diesem Kapitel werden die verschiedenen Berechnungsmodule hinsichtlich ihrer Eingabeparameter und Besonderheiten beschrieben.

Der Start aller Berechnungsabläufe erfolgt in diesem Menü:



Mehrkomponenten Stofftransport

Dieses Berechnungsmodul ist derzeit in der Entwicklung.

Prozessüberwachung

Während einer instationären Berechnung ist es möglich, den zeitlichen Verlauf der berechneten Ergebnisse live nachzuverfolgen durch Starten des SPRING Process Observers. eine detaillierte Anwendung dieses Tools findet sich im Kapitel: "Instationäre Strömung - Beobachtung der Berechnungsergebnisse während der instationären Berechnung" (S. 297).

Nach Eingabe der Parameter und Start des gewählten Berechnungsmoduls öffnet sich der SPRING Process Launcher, in dem der Verlauf der Berechnung protokolliert wird.

Anmerkung: Während der Berechnung ist es möglich, weiter am aktuellen Modell zu arbeiten!

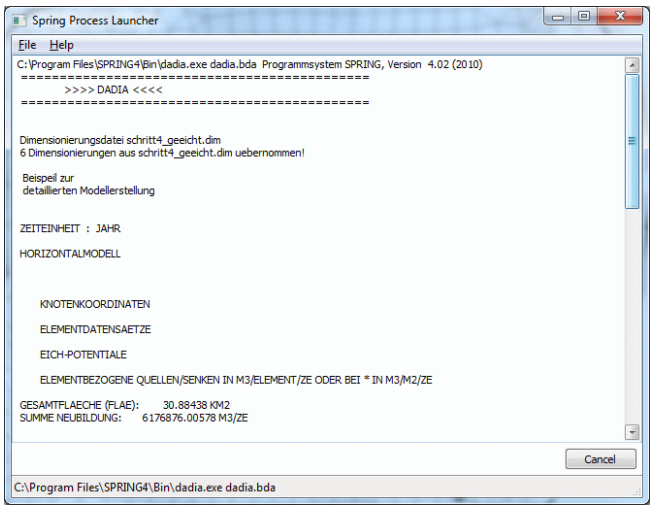


Abb. 176: Protokollfenster der Berechnung

6.1 Modellprüfung

Aufruf durch: *SPRING → Berechnung → Modellprüfung…*

Die Modellprüfung dient der Datendiagnose und Aufbereitung der Netzdaten. Hierbei werden die *.net- und evtl. *.3d-Dateien sowie die entsprechenden Zusatzdateien (falls vorhanden) eingelesen. Die Datendiagnose umfasst eine Kontrolle auf Vollständigkeit und Plausibilität (optional); alle eventuell auftretenden Fehler werden protokolliert. Zur Datenaufbereitung gehört eine Bandbreitenoptimierung, die speziell für 3D-Modelle angepasst wurde. Bei 3D-Modellen werden bei auslaufenden Schichten die wegfallenden Knoten und Elemente aussortiert. Die aufbereiteten Daten werden in Hintergrunddateien für die weiteren Module gespeichert.

Bei der Modellprüfung werden ggf. interne Berechnungen durchgeführt und Werte von eingegebenen Attributen nachbelegt.

Wenn in der Modelldatei Bergsenkungen (Attribut BERG) vorhanden sind, werden diese automatisch berücksichtigt und von den folgenden Attributen subtrahiert:

- GELAendeoberfläche
- UNTErkanten
- OBERkanten
- Z-Koordinaten (ZKOR beim 3D-Modell)
- VORFlutpotentiale

Durch die Bergsenkungen vergrößert sich die wassererfüllte Mächtigkeit.

Beispiel:

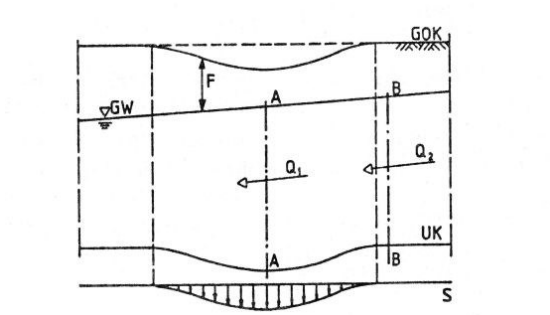


Abb. 177: Schnitt durch einen durch Bergsenkungen beeinflussten Grundwasserleiter

In der Grafik (stationäre Strömung) muss von Schnitt A – A nach Schnitt B – B die Kontinuitätsbedingung ($Q_1 = Q_2$) erfüllt sein. Da sich in senkungsbeeinflussten Bereichen die wassererfüllte Mächtigkeit vergrößert, ergeben sich Auswirkungen auf die Strömung selbst.

Durch das Absinken der Geländeoberfläche verringert sich der Abstand Geländeoberfläche – Grundwasseroberfläche, der so genannte Flurabstand (F).

Um den Eingabeaufwand gering zu halten, werden bei einem 3D-Modell die Daten der tieferen Schichten automatisch mit denen der höheren Schichten belegt, sofern für die betreffenden Schichten keine Angaben in der *.3d-Datei stehen. Diese automatische Nachbelegung erfolgt für die folgenden Attribute:

- EICHpotentiale
- Durchlässigkeiten (KWER, KWEV, KFVH)
- Beschränkung der Durchlässigkeiten (KMIN, KMAX)
- Dispersivitäten (DISP)
- Porositäten (PORO)
- Speicherkoeffizienten (SPEI, KSPE)
- Anfangskonzentrationen (AKON)
- Anisotrope K-Werte (Z-KA)
- Kompressibilität des Gesamtsystems (KOMP)

Nach der Modellprüfung kann auch bei auftretenden Fehlern in der Modelldatei teilweise mit anderen Modulen weiter gearbeitet werden.

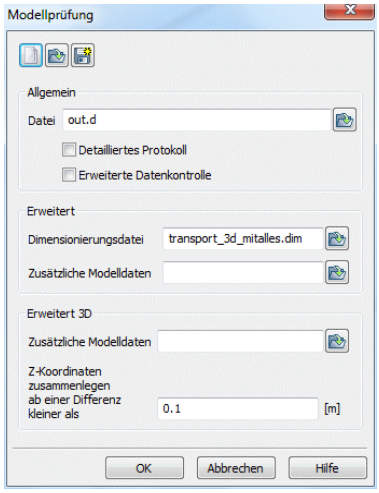
Die Fehler werden in mögliche Netzfehler (Nr. >0) und mögliche Datenfehler (Nr. <0) unterschieden. Bei Datenfehlern sind z.B. noch Netzplots (*Datei → Ploterstellung*) oder Dateninterpolationen (*Berechnung → Interpolation*) möglich; es müssen dafür mindestens die Knotenkoordinaten und Elementinzidenzen vorhanden sein.

Unbekannte Datenarten werden mit Ausgabe einer Warnung überlesen. Weiterhin existieren die vordefinierten allgemeinen Knoten- bzw. Elementdatenarten KKKK und EEEE, mit denen beliebige Daten für eine Plotauswertung (z.B. Verschneidung mit Berechnungsergebnissen) mitgeführt werden können.

6.1.1 Eingabeparameter

Achtung: Vor Starten der Modellprüfung muss das Projekt immer erst gespeichert werden! Sonst werden zuletzt durchgeführte Änderungen nicht berücksichtigt!

Nach Auswahl von *Berechnung → Modellprüfung* erscheint das folgende Eingabefenster (für ein 3D-Modell):



Beim Aufruf der Eingabemaske liest das Programm die Batch-Datei mit dem voreingestellten Namen dadia.bda ein (sofern sie vorhanden ist), und die Standardeinstellungen in der Maske werden ggf. entsprechend verändert.

Allgemein

Im Block "Allgemein" wird der Name der *Ausgabedatei* (voreingestellt: out.d) eingegeben sowie selektiert, ob ein *Detailliertes Protokoll* oder eine *Erweiterte Datenkontrolle* gewünscht wird.

Beim normalen Protokoll werden die Knotenkoordinaten und Elementinzidenzen sowie die gelesenen Datenarten (nicht die Werte) in die Ausgabedatei geschrieben. Beim *Detaillierten Protokoll* werden für alle Datenarten auch die eingegebenen Werte aufgelistet.

Bei der Durchführung einer *Erweiterten Datenkontrolle* kann sich die Rechenzeit bei großen Modellen drastisch erhöhen. Diese Funktion sollte deshalb nur bei einem neu erstellten Netz oder größeren Datenänderungen angewählt werden. Eine minimale Netz- und Datenkontrolle wird in jedem Fall durchgeführt.

Die erweiterte Datenkontrolle bezieht sich insbesondere auf:

- Netzgeometrie (Knoten in Elementen, Überschneidung von Elementen ...)
- doppelte Knotennummern
- gleichzeitige Angabe von Potentialen und Ein-/Ausflüssen an Knoten
- vollständige Angaben der jeweiligen Daten für das ganze Netz
- Daten- und Plausibilitätskontrollen für die meisten Datenarten

Erweitert

Im Block "Erweitert" wird nach dem Namen der *Dimensionierungsdatei* (*.dim, wird während des Speicherns automatisch erstellt) und einer eventuell zu berücksichtigenden *Zusatzdatei* gefragt. Diese können entweder direkt eingegeben werden oder durch Drücken des Buttons "Datei öffnen" aus einem beliebigen Verzeichnis gewählt werden.

Die Zusatzdateien haben den gleichen Aufbau wie die Netzdateien. Hier können einzelne oder auch mehrere Datenarten angegeben werden, die die Eingaben in den Netzdateien ergänzen oder (bei gleichen Knoten- bzw. Elementnummern) überschreiben. Auf diese Weise können z.B. verschiedene Datensätze von Entnahmen getrennt von den übrigen, identischen Eingabedaten in verschiedenen Dateien gehalten werden, wenn verschiedene Varianten berechnet werden sollen.

Erweitert 3D

Der Block "Erweitert 3D" erscheint erst bei der Modellprüfung eines 3D-Modells. Hier wird nach dem Namen einer eventuell zu berücksichtigenden (dreidimensionalen) Zusatzdatei gefragt.

Des Weiteren wird hier festgelegt, bei welchem minimalen Abstand Knoten bei auslaufenden Schichten vertikal zusammengelegt werden ("*Z-Koordinaten zusammenlegen ab einer Differenz kleiner als:*").

Die Buttons im Kopf des Eingabefensters ermöglichen das Zurücksetzen der Eingabeparameter ( ), das Öffnen einer vorhandenen Batch-Datei ( ) oder das Speichern der aktuellen Batch-Datei unter einem anderen Namen ( ).

Die Buttons am unteren Rand des Eingabefensters starten die Berechnung (*OK-Button*), schließen den Dialog (*Abbrechen*) oder öffnen die digitale Hilfe (*Hilfe-Button*).

6.1.2 Batchdatei Modellprüfung

Der Aufruf der *Modellprüfung* kann auch direkt ohne die Eingabemaske über die Kommandozeile erfolgen, sofern eine Batch-Datei **.bda* im Verzeichnis vorhanden ist. Hierzu wird in das Verzeichnis gewechselt, in dem die Berechnung ausgeführt werden soll.

Die Eingabe von *dadia* und dem Bestätigen mit der Enter-Taste führt dazu, dass eine Berechnung der Modellprüfung gestartet wird. Der voreingestellte Batch-Datei-Name ist *dadia.bda*. Diese Datei wird im Verzeichnis gesucht. Mit dem Aufruf *dadia Dateiname* kann aber auch eine andere Batch-Datei angegeben werden (die Erweiterung ".bda" wird bei Bedarf automatisch angehängt). Die Batch-Dateien können von Hand mit einem beliebigen Editor erstellt oder verändert werden.

Eine ausführliche Batchdatei kann in der Online-Hilfe eingesehen werden. Ebenso wird dort eine Batchdatei der Modellprüfung zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung gestellt.

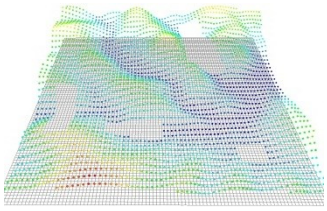
6.2 Interpolation

Aufruf durch: *SPRING → Berechnung → Interpolation…*

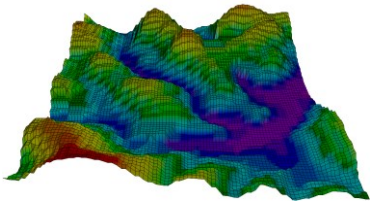
Bei der Interpolation wird prinzipiell zwischen zwei verschiedenen Arten der Daten-Interpolationen unterschieden:

- Flächenhafte Interpolation von knoten- oder elementbezogenen Daten: Hier stehen verschiedene Interpolationsalgorithmen zur Verfügung, um Werte (z_i) an Stützstellen (x_i, y_i) flächenhaft auf alle Knoten bzw. Elemente (bei 3D-Modellen nur der obersten Schicht) zu interpolieren. Bei der Interpolation können zusätzliche Informationen berücksichtigt werden. Insbesondere für die Interpolation von Grundwassergleichenplänen wurden spezielle Funktionalitäten zur Einbeziehung bereits aufgenommener Modellinformationen in die Interpolation entwickelt.
- Linienförmige Interpolation von Stützstellendaten (auch instationäre Daten / Ganglinien) auf alle Knoten eines definierten Knotenzuges.

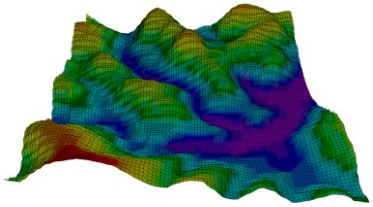
In der folgenden Abbildung sind die verschiedenen Interpolationsalgorithmen zum Vergleich gegenübergestellt.



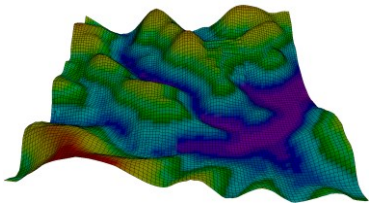
Elementnetz mit Interpolationspunkten



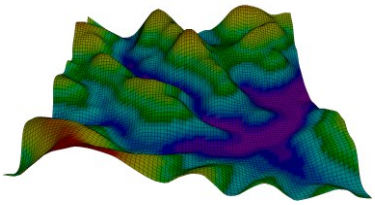
Nearest Neighbour



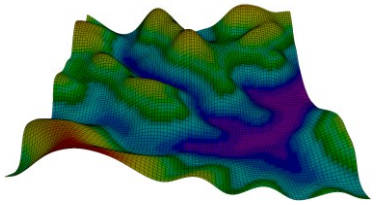
Abstandswichtung (500+2)



Flächeninterpolation (1 Durchgang)



Gauß-Interpolation

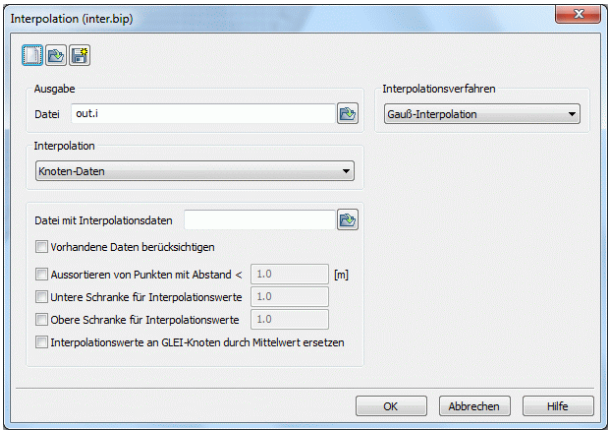


Kriging (Ausgleichspolynom)

Die Interpolation mit dem Nearest-Neighbour Algorithmus wird ausschließlich im SPRING-Attributemenü (*Attribute → Zuweisen → Durch Interpolation…*) zur Verfügung gestellt, während die Interpolationsmethoden Abstandswichtung, Flächeninterpolation und Gaußinterpolation sowohl im Attributemenü als auch im Berechnungsmenü (*Berechnung → Interpolation…*) gewählt werden können. Die Methode nach Kriging ist indessen nur im Berechnungsmodul *Interpolation* möglich.

6.2.1 Eingabeparameter

Nach Auswahl von *Berechnung → Interpolation* erscheint das folgende Eingabefenster:



Beim Aufruf der Eingabemaske liest das Programm die Batch-Datei mit dem voreingestellten Namen *inter.bip* ein (sofern sie vorhanden ist), und die Standardeinstellungen in der Maske werden ggf. entsprechend verändert.

Ausgabe

Im Block "Ausgabe" wird der Name der *Ausgabedatei* (voreingestellt: out.i) eingegeben.

Interpolation

Im Block "Interpolation" wird die Interpolationsart definiert. Es wird unterschieden zwischen:

- Knoten-Daten
- Element-Daten (Interpolation auf die Elementmittelpunkte)
- Gleichenplan (nur beim 2D-Modell)
- Knotenzug für mehrere Zeitschritte

Durch die Wahl der Interpolationsart bestimmt sich das weitere Aussehen des Eingabefensters. Bei der Wahl “Gleichenplan“ öffnen sich weitere Eingabemöglichkeiten, während sich bei der Wahl "Knotenzug..." der Block für den Interpolationsalgorithmus schließt.

Zusatzangaben

In diesem Block werden Angaben zu den Daten gemacht, die bei der Interpolation berücksichtigt werden sollen.

- Auswahl der *Datei mit Interpolationsdaten*:

  In der Interpolationsdaten-Datei dürfen nur Zeilen mit den Angaben:

  beliebige Nummer, x-Koordinate, y-Koordinate, Wert

  stehen (Format I6, 3F10.2 = Format der Strukturdaten). Es dürfen keine Leerzeilen zwischen den Daten stehen.
- Berücksichtigung von bereits in der *.net-Datei vorhandenen Daten:

  Soll dies geschehen, erscheint nach Aktivieren der Check-Box eine Auswahlliste der vorhandenen, in Frage kommenden Datenarten. Es ist zu beachten, dass die Daten in den angegebenen Einheiten verwendet werden. Diese sind bei den Modelldaten nicht unbedingt die Einheiten, in denen die Daten eingegeben wurden. Diese Auswahl steht nur zur Verfügung, wenn Knoten- oder Element-Daten interpoliert werden sollen.
- Bestimmen eines *Mindestabstandes* der Interpolationspunkte.

  Bei den Interpolationsalgorithmen Kriging und Gauß sowie der Interpolation für Gleichenpläne dürfen keine doppelten Koordinaten vorhanden sein!
- Festlegen einer *Unter- und Obergrenze* für die zu interpolierenden Daten.

  Die berechneten Knoten- bzw. Elementwerte werden nach der Interpolation durch die vorgegebenen Extremwerte begrenzt (Bergsenkungen sollten z.B. nicht negativ werden!)
- Bei der Interpolation von Knoten-Daten können die in der Netzdatei definierten GLEI-Randbedingungen berücksichtigt werden:

  An den GLEI-Knoten werden die interpolierten Werte durch einen Mittelwert ersetzt, so dass z.B. alle Knoten eines Sees mit GW-Kontakt den gleichen Wert besitzen. Dieser Menüpunkt entfällt bei der Interpolation von Element-Daten oder wenn das Attribut GLEI nicht zugewiesen ist.
- Bei der Interpolation eines Gleichenplans können *Zusätzliche Stützstellen* berücksichtigt werden. Das Vorgehen ist im Kapitel 5.33.35.32 detailliert beschrieben.

Interpolationsverfahren

Hier wird das Interpolationsverfahren ausgewählt, welches zum Einsatz kommen soll. Folgende Algorithmen stehen zur Verfügung:

- Abstandswichtung
- Flächeninterpolation
- Kriging
- Gauß-Interpolation

Je nach gewähltem Verfahren öffnen sich weitere Eingabemöglichkeiten, die in den folgenden Kapiteln näher beschrieben werden.

Die Buttons im Kopf des Eingabefensters ermöglichen das Zurücksetzen der Eingabeparameter ( ), das Öffnen einer vorhandenen Batch-Datei ( ) oder das Speichern der aktuellen Batch-Datei unter einem anderen Namen ( ). Die Buttons am unteren Rand des Eingabefensters starten die Berechnung (*OK-Button*), schließen den Dialog (*Abbrechen*) oder öffnen die digitale Hilfe (*Hilfe-Button*).

6.2.1.1 Abstandswichtung

Es erscheint folgende Erweiterung im Eingabefenster:

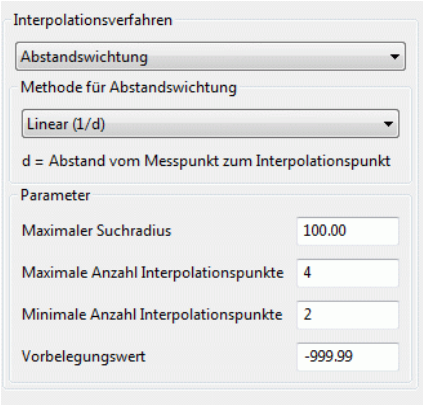


Abb. 178: Eingaben für die Abstandswichtung

Die vorhandenen Messdaten werden entsprechend ihres Abstands d vom gesuchten Knotenpunkt bzw. Elementmittelpunkt gewichtet. Für die Wichtung kann unter vier Methoden ausgewählt werden:

- nach Sampson (siehe unten),
- linear (1/d),
- quadratisch ($1/d^2$),
- 4. Grades ($1/d^4$),

wobei d der Abstand vom Messpunkt zum Interpolationspunkt ist.

Der Benutzer bestimmt den *maximalen Suchradius*, in dem Messpunkte gesucht werden sowie die *maximale und minimale Anzahl* an Messpunkten, die in die Interpolation einzubeziehenden sind. Wird im angegebenen Suchradius kein Messpunkt oder eine zu kleine Anzahl Messpunkte gefunden, so wird für den betreffenden Knoten bzw. für das betreffende Element kein Wert interpoliert und statt dessen der Knoten- oder Elementwert auf einen vom Benutzer definierten *Vorbelegungswert* gesetzt.

Anmerkung: Bei der Interpolation von Daten im Menü *Attribute → Zuweisen → Durch Interpolation…* erhalten Knoten oder Elemente, für die nicht genug Interpolationspunkte gefunden wurden, im Gegensatz hierzu keinen Wert!

Im linearen Fall nimmt der Einfluss eines Datenpunktes auf den Interpolationspunkt mit der Entfernung linear ab, was in der Regel zu einer relativ rauen Interpolationsfläche mit etwa linearen Übergängen zwischen den Datenpunkten führt. Bei der Wichtung 4. Grades nimmt der Einfluss eines Punktes mit der vierten Potenz seines Abstandes ab, so dass der Wert des nächstgelegenen Punktes von sehr großer Bedeutung ist. Dieses Verfahren erzeugt sehr glatte, aber um die Datenpunkte leicht gestufte Flächen. Die quadratische Wichtung vermittelt zwischen diesen beiden Extremen.

Das Verfahren nach SAMPSON (1978) wurde auch unter der Bezeichnung "constrained distance-squared weighting" publiziert und basiert auf folgender Wichtungsfunktion:

$$(1-d/(1{,}1*d_{max}))^2/(d/(1{,}1*d_{max})^2$$

Dieses Verfahren liefert von den vier aufgeführten Wichtungsmethoden in der Regel die gefälligsten Ergebnisse.

6.2.1.2 Flächeninterpolation

Es erscheint folgende Erweiterung im Eingabefenster:

Abb. 179: Eingaben für die Flächeninterpolation

Mithilfe von Messpunkten, die dem zu interpolierenden Punkt am nächsten liegen, werden Ausgleichsflächen berechnet. Diese werden aus jeweils 3 Messpunkten und deren Messwerten gebildet. Der Wert für den Interpolationspunkt wird aus den Werten der Ausgleichsflächen gemittelt.

Nachdem auf diese Weise für alle Interpolationspunkte ein Wert berechnet wurde, werden diese zu den Messdaten hinzugefügt und ein neuer Durchlauf der Flächeninterpolation gestartet. Das Verfahren wird insgesamt viermal durchlaufen, um so eine möglichst glatte Interpolation zu erzielen. Liegen in der Nähe eines Interpolationspunktes zu wenig Messpunkte, so kann für den betreffenden Knoten bzw. für das betreffende Element kein sinnvoller Wert interpoliert werden. Der Wert wird dann stattdessen auf den vom Benutzer definierten *Vorbelegungswert* gesetzt.

Anmerkung: Bei der Interpolation von Daten im Menü *Attribute → Zuweisen → Durch Interpolation…* erhalten Knoten oder Elemente, für die nicht genug Interpolationspunkte gefunden wurden, im Gegensatz hierzu keinen Wert!

Im Gegensatz zur Abstandswichtung können sich bei der Flächeninterpolation auch Interpolationswerte ergeben, die größer als der maximale Messwert und kleiner als der minimale Messwert sind (durch Extrapolation, wenn ein Interpolationspunkt außerhalb des durch die Messwerte definierten Bereiches einer Ausgleichsfläche liegt).

6.2.1.3 Kriging

Die Methode nach Kriging ist ein Oberbegriff für stochastische Interpolationsverfahren im Gegensatz zu deterministischen Verfahren (z.B. Abstandswichtung).

Der Wert zu einem Interpolationspunkt (x, y) wird beim Kriging-Verfahren durch Wichtung aller Messdaten ermittelt:

$$z = z(x,y) = \lambda_1(x,y)z_1 + \lambda_2(x,y)z_2 + ... + \lambda_n(x,y)z_n$$

Dabei seien z_i die Messwerte zu den n Messpunkten (x_i, y_i), $i=1,...n$.

Die Wichtungskoeffizienten $\lambda_i(x, y)$ werden nicht allein durch den Abstand der Messdaten vom zu interpolierenden Punkt (vgl. Abstandsinterpolation) bestimmt, sondern - gemäß der Ähnlichkeit der Messdaten untereinander - in einem Gleichungssystem berechnet.

6.2.1.3.1 Variogrammerstellung für Kriging

Der wichtigste Schritt für eine Interpolation mit dem Krigingverfahren ist daher die Erstellung eines Variogramms. Dieses dient dazu, die Differenz je zweier Messwerte zum Abstand der zugehörigen Messpunkte in Beziehung zu setzen und die so gewonnene statistische Information durch eine Varianz-Funktion sinnvoll zu approximieren:

Es wird in einem ersten Schritt ein so genanntes experimentelles Variogramm erstellt. Dazu werden Abstandsklassen (Abstände in Metern) definiert:

$$K_k = [h_{k-1}, h_k], k = 1,..., i \text{ mit } 0{,}0 = h_0 \le h_1 \le h_2 ... \le h_i$$

Für jede Abstandsklasse werden die Messwerte aller Messpunktpaare, deren Abstände in diese Klasse fallen, ausgewertet und eine Semivarianz $g_k(h)$ berechnet:

$$g_k(h) = \frac{1}{2 * m_k} \sum_{1}^{m_k} (z_i(x_i, y_i) - z_j(x_j, y_j))^2 \quad \text{mit} \quad \left|(x_i, y_i) - (x_j, y_j)\right| \in K_k$$

wobei m_k die Anzahl aller Messpunktpaare *(i, j)* bezeichnet, deren Abstand in der Klasse K_k liegt.

z_j bezeichnet einen Punkt, der um den Abstand h von z_i entfernt ist.

Für die vom Benutzer gewählte Unterteilung der Abstandsklassen (maximal 16) wird eine Tabelle mit den wichtigsten Variogrammdaten aller Abstandsklassen ausgegeben:

Spalte 1: Nummer der Klasse *k*,

Spalte 2: maximaler Abstand h_k,

Spalte 3: mittlerer Abstand h aller Messpunktpaare in dieser Klasse,

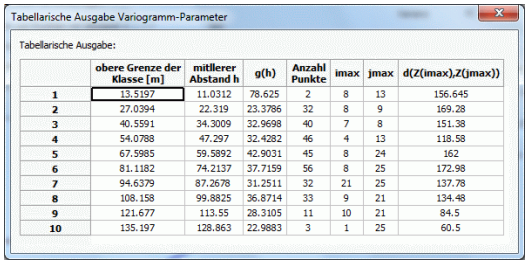
Spalte 4: Semivarianz $g_k(h)$

Spalte 5: Anzahl aller Messpunktpaare in dieser Klasse m_k,

Spalte 6 und 7: *imax* und *jmax*, Nummern der Messpunkte, für die die Messwerte *z(imax)* und *z(jmax)* den größten Werteunterschied der Abstandsklasse aufweisen,

Spalte 8: *d(z(imax),z(jmax)) = 0.5 * (z(imax)-z(jmax))²*, als Vergleichswert für die Varianz $g_k(h)$

Eine solche Tabelle kann z.B. für 10 Abstandsklassen bei einer äquidistanten Unterteilung der Klassen folgendermaßen aussehen:


Tabellarische Ausgabe Variogramm-Parameter

Tabellarische Ausgabe:

	obere Grenze der Klasse [m]	mittlerer Abstand h	g(h)	Anzahl Punkte	imax	jmax	d(Z(imax),Z(jmax))
1	13.5197	11.0312	78.625	2	8	13	156.645
2	27.0394	22.319	23.3786	32	8	9	169.28
3	40.5591	34.3009	32.9698	40	7	8	151.38
4	54.0788	47.297	32.4282	46	4	13	118.58
5	67.5985	59.5892	42.9031	45	8	24	162
6	81.1182	74.2137	37.7159	56	8	25	172.98
7	94.6379	87.2678	31.2511	32	21	25	137.78
8	108.158	99.8825	36.8714	33	9	21	134.48
9	121.677	113.55	28.3105	11	10	21	84.5
10	135.197	128.863	22.9883	3	1	25	60.5

Abb. 180: Tabellarische Ausgabe der Variogrammparameter

Außerdem wird zur Orientierung der maximale Abstand zwischen zwei Messwerten protokolliert.

Die Abstandsklassen sollten möglichst so eingeteilt werden, dass in keiner Klasse die Anzahl der zugehörigen Messpunktepaare = 0 wird. Die Anzahl sollte für alle Abstandsklassen in der gleichen Größenordnung liegen. Liegt ein Messpunktepaar in keiner Abstandsklasse, so wird der maximale Abstand der letzten Klasse entsprechend vergrößert.

In einem experimentellen Variogramm werden nun die berechneten Varianzen $g_k(h)$ (Spalte 4 der Tabelle = y-Achse) zu den mittleren Abständen h (Spalte 3 der Tabelle = x-Achse) in einem Diagramm aufgetragen. Begrenzung der x-Achse ist der ermittelte maximale Abstand der Messpunkte zueinander.

Es muss nun eine Funktion gefunden werden, die dieses experimentelle Variogramm möglichst gut approximiert und zur Berechnung der Interpolationsgewichte $\lambda_i(x, y)$ verwendet werden kann.

Als Ansatzfunktionen hierfür werden 6 Funktionstypen angeboten:

- Variogramm h^A
- Sphärisches Variogramm
- Exponentielles Variogramm
- Gauß-Variogramm
- Kubisches Polynom
- Ausgleichspolynom

Für die Typen (1) bis (5) müssen die Parameter PEP, PI und A festgelegt werden:

- PEP >= 0: sogenannter 'nugget effect': Maß für die Streuung des Messwertes (Messfehler) g(0)=PEP
- PI >= 0: Varianz der beobachteten Messwerte
- A >= 0: Größe des Bereichs, dessen Punkte zur Interpolation verwendet werden, bei den Funktionstypen (2) bis (5) sollte der Parameter A ungefähr dem max. Abstand entsprechen

In der folgenden Abbildung ist die Bedeutung der einzelnen Parameter schematisch dargestellt:

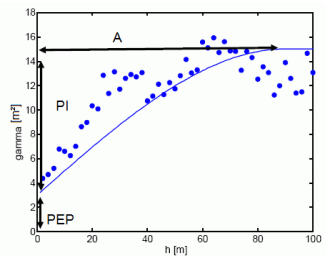


Abb. 181: Schematische Darstellung der Variogramm-Parameter

Die folgenden Abbildungen zeigen das experimentelle Variogramm (rote Punkte) überlagert mit der gewählten Funktion (blau) und der zugehörigen Eingabe in SPRING für die verschiedenen Ansatzfunktionen.

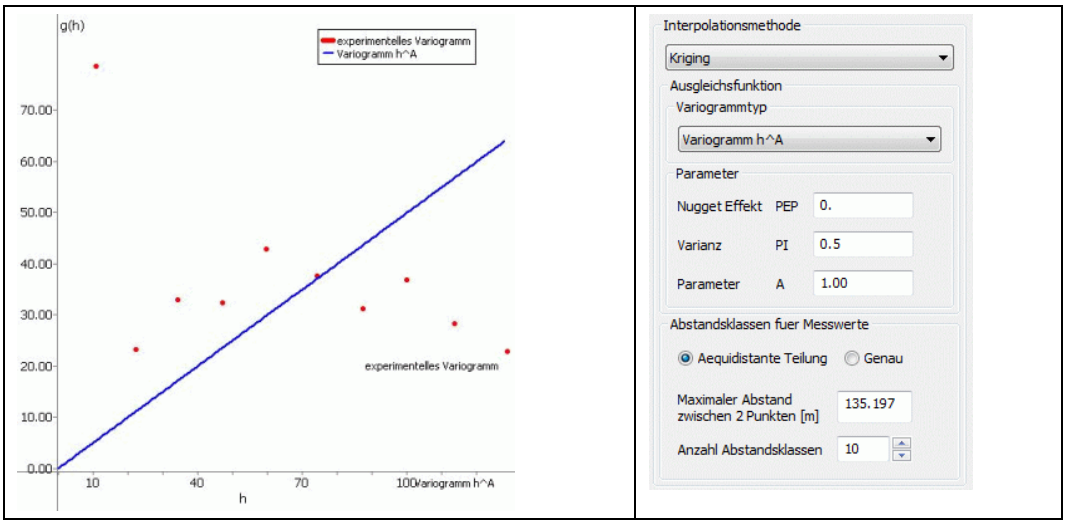
(1) Variogramm h^A:

Die Ansatzfunktion für diesen Variogrammtyp lautet:

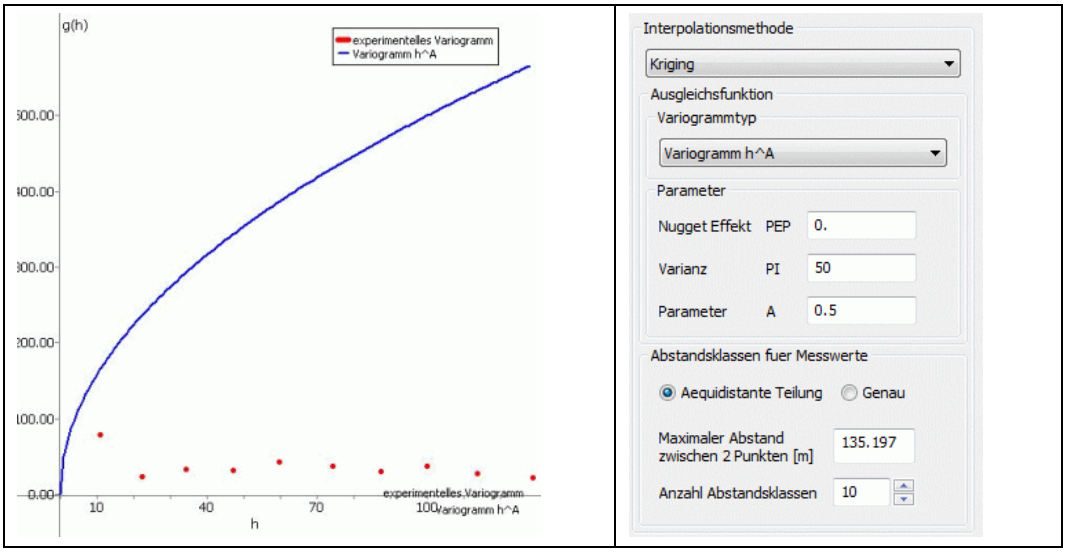
$g(h) = PEP + PI * h^A$

In Abhängigkeit des Parameters A gibt es drei verschiedene Funktionsverläufe des Variogramms:

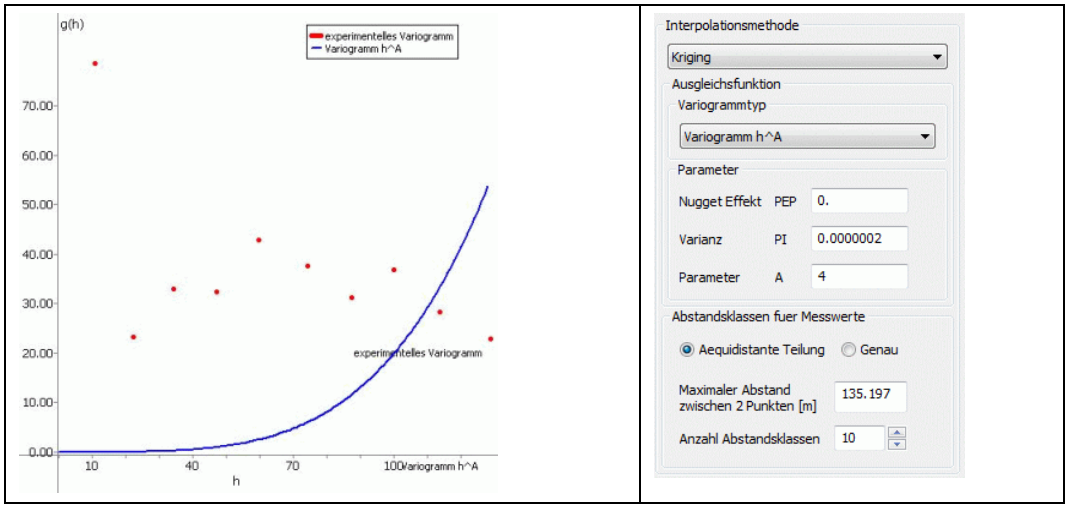
Fall 1: A = 1 (Gerade)



Fall 2: A < 1



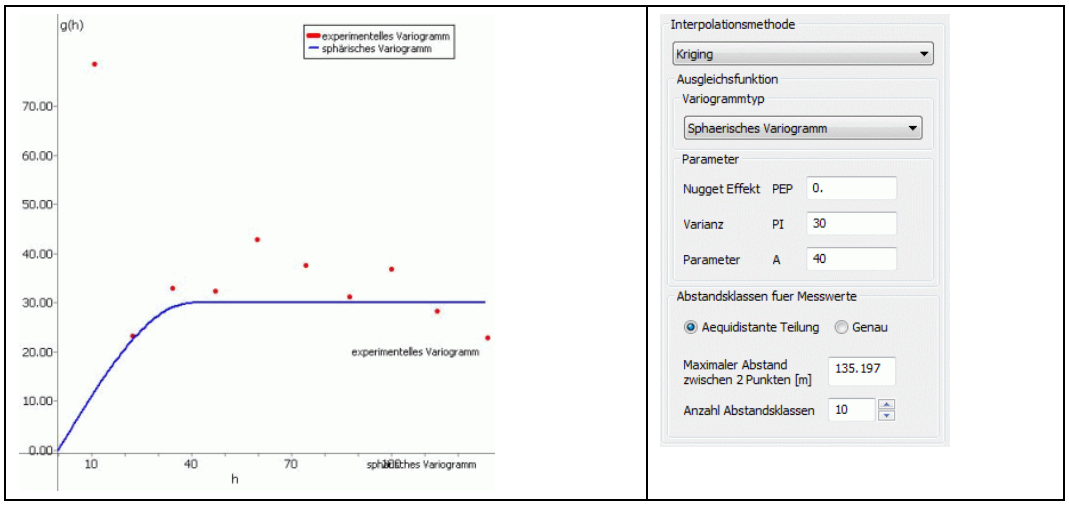
Fall 3: A > 1



(2) sphärisches Variogramm:

Die Ansatzfunktion für diesen Variogrammtyp lautet:

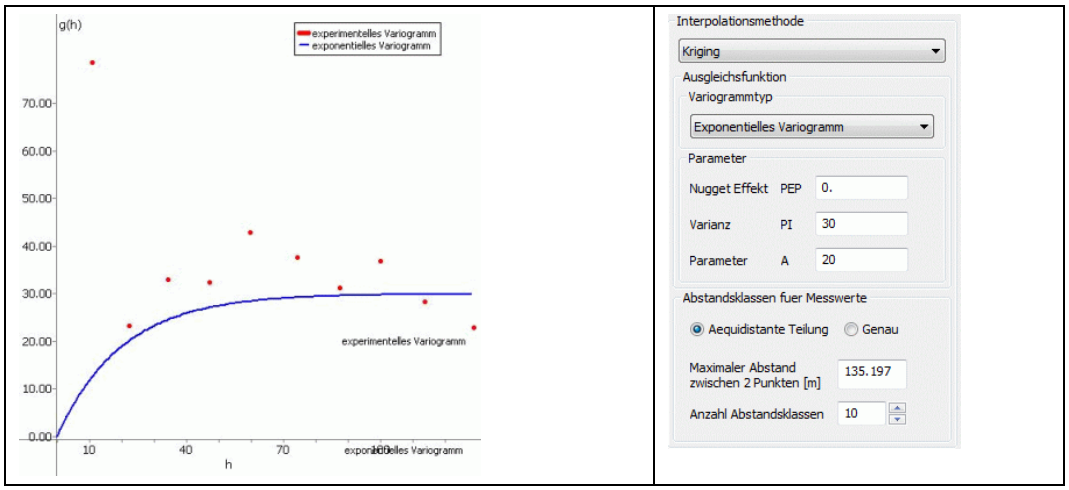
$$g(h) = \begin{cases} PEP + PI \cdot (1{,}5 \cdot H - 0{,}5 \cdot H^3) & \text{für } H = \frac{h}{A}, H < 1 \\ PEP + PI & \text{für } H = \frac{h}{A}, H > 1 \end{cases}$$



(3) exponentielles Variogramm:

Die Ansatzfunktion für diesen Variogrammtyp lautet:

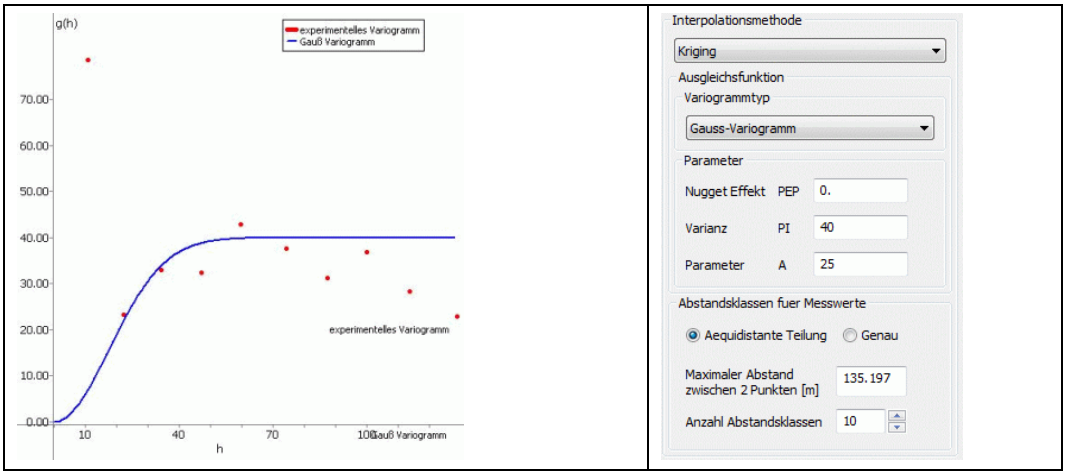
g(h) = PEP + PI * (1-exp (-H)) , mit H = h/A



(4) Gauß Variogramm:

Die Ansatzfunktion für diesen Variogrammtyp lautet:

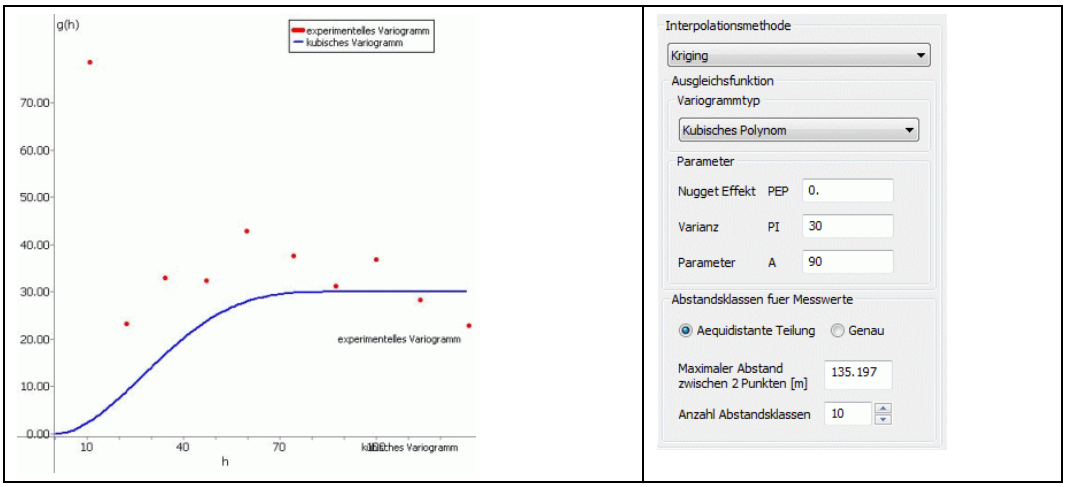
g(h) = PEP + PI *(1-exp (-H²)), mit H = h/A



(5) kubisches Variogramm:

Die Ansatzfunktion für diesen Variogrammtyp lautet:

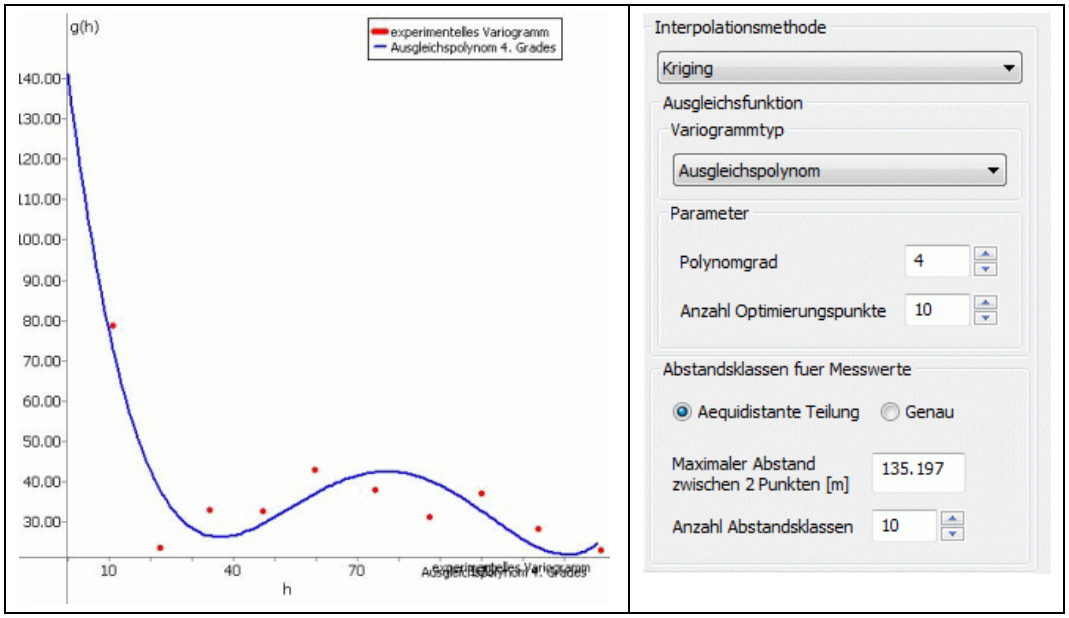
$$g(h) = \begin{cases} PEP + PI \cdot (7 \cdot H^2 - 8{,}75 \cdot H^3 + 3{,}5 \cdot H^5 - 0{,}75 \cdot H^7) & \text{für } H = \frac{h}{A}, H < 1 \\ PEP + PI & \text{für } H = \frac{h}{A}, H > 1 \end{cases}$$



(6) Ausgleichspolynom vom Grad 1 bis 9

Wird ein Ausgleichspolynom gewählt, müssen der Grad des Polynoms (zwischen 1 und 9) und die Anzahl der Punkte, für die das Polynom approximiert werden soll (maximale Anzahl ist die Anzahl der Abstandsklassen), festgelegt werden.

Für das obige Beispiel ergibt sich z. B. folgendes Ausgleichspolynom:



Grundsätzlich sollten die entsprechend konstruierten Funktionen monoton steigend sein und die berechneten Werte möglichst gut approximieren. Die Güte der Varianz-Funktion g(h) bestimmt letztendlich auch die Güte der mit Kriging interpolierten Punkte.

Auf die Erstellung des Variogramms ist bei Verwendung des Kriging-Interpolationsverfahrens besonderen Wert zu legen, da das Interpolationsverfahren besonders sensibel auf die Wahl der Parameter reagiert.

6.2.1.3.2 Kriging Interpolation

Mit Hilfe der über das Variogramm erstellten Varianz-Funktion g(h) werden nun die Interpolationsgewichte $\lambda_i(x, y)$ für einen Interpolationspunkt (x, y) so festgelegt, dass

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j(x,y) * g\left(\left\|(x_j,y_j)-(x_i,y_i)\right\|\right) = g\left(\left\|(x,y)-(x_i,y_i)\right\|\right) - \lambda(x,y) \quad \text{, mit i = 1,...n}$$

gilt ('moving average equation'), mit:

$$\sum_{i=1}^{n} \lambda_i(x,y) = 1$$

Dies führt zu einem ((n+1) x (n+1)) dimensionalen Gleichungssystem für die Gewichte $\lambda_i(x, y)$, *i=1,...,n* und den Parameter g(x, y):

$$\begin{pmatrix} g\left(\left\|(x_j,y_j)-(x_i,y_i)\right\|\right) & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda_i(x,y) \\ \dots \\ n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} g\left(\left\|(x,y)-(x_i,y_i)\right\|\right) \\ \dots \\ 1 \end{pmatrix}$$

Die Matrix des Gleichungssystems ist unabhängig vom Interpolationspunkt (*x, y*). Während der Interpolation wird eine LR-Zerlegung dieser Matrix durchgeführt. Für jeden Interpolationspunkt *(x, y)* kann dann die Lösung des Gleichungssystems für die Interpolationsgewichte durch einfaches Rücklösen zur entsprechenden rechten Seite erfolgen. Für jeden Interpolationspunkt wird dabei die Varianz

$$v(x,y) = \lambda(x,y) + \sum_{i=1}^{n} \lambda_i(x,y) * g\left(\left\|(x,y)-(x_i,y_i)\right\|\right)$$

berechnet. Diese Größe muss für alle Interpolationspunkte 0 sein. Sollte dies für einige Punkte nicht zutreffen, so zeigt dies numerische Probleme oder Rundungsfehler der Kriging-Interpolation an. Es wird dann die Anzahl der Punkte mit v < 0 als Warnung ausgegeben.

6.2.1.3.3 Eingabeparameter für Kriging

Beim Aufruf der Interpolation nach Kriging erscheint vorab das Dateiauswahlfenster, in dem die Datei mit den Variogramm-Daten ausgewählt wird, sofern nicht schon vorher eine Datei mit den Interpolationsdaten ausgewählt wurde. Diese Datei muss im Strukturdatenformat (ASCII) vorliegen. Dann erscheint folgendes Eingabefenster:

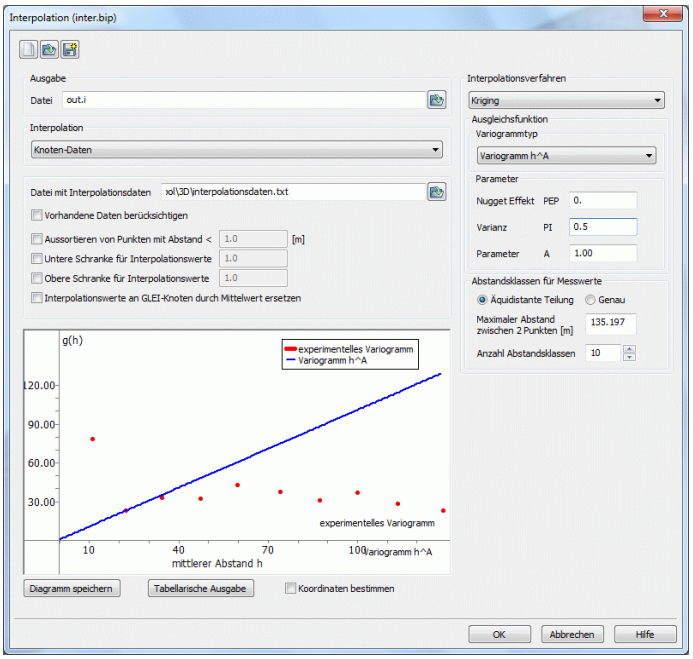


Abb. 182: Eingaben für Kriging

Variogrammtyp

Hier kann aus den 6 möglichen Variogrammtypen ein Typ ausgewählt werden. In Kapitel 5.33.1.3.1 sind die Ansatzfunktionen der Variogrammtypen beschrieben.

Parameter

Je nach ausgewähltem Variogrammtyp ist die Eingabe von weiteren Parametern erforderlich:

Bei Variogrammtyp (1) bis (5) müssen die Parameter PEP, PI und A entsprechend definiert werden. Die Bedeutung dieser Parameter ist in Kapitel 5.33.1.3.1 beschrieben.

Bei Variogrammtyp (6) müssen der Grad des Ausgleichspolynoms und die Anzahl der Punkte im experimentellen Variogramm, für die das Polynom optimiert werden soll, eingegeben werden.

Abstandsklassen

Zur Erstellung des experimentellen Variogramms müssen die Anzahl der Abstandsklassen und die Einteilung der Klassen definiert werden. Bei Wahl einer –äquidistanten- Einteilung (voreingestellt) muss zusätzlich die Anzahl und der maximale Abstand für die Klasseneinteilung angegeben werden. Durch Aktivieren des Radio-Buttons -genaue Eingabe- ist eine explizite Auswahl der Grenzen für jede Abstandsklasse (in einem Untermenü) möglich.

Wird eine äquidistante Einteilung definiert, so erscheinen bei anschließendem Aktivieren von -genaue Eingabe- im Untermenü die zugehörigen Abstände in m, die dann weiter bearbeitet werden können. Wird eine genaue Einteilung definiert, so erscheint bei anschließendem Aktivieren von -äquidistant- der Abstand der letzten Abstandsklasse als maximaler Abstand und die Anzahl für die Abstandsklassen ist entsprechend voreingestellt.

Variogramm-Fenster

Im linken Teil des Eingabefensters erscheint das auf den Interpolationsdaten basierende Variogramm.

Hier lässt sich die Änderung der einzelnen Parameter direkt ablesen, so dass interaktiv die passende Ausgleichsfunktion erstellt werden kann.

Durch “Diagramm speichern“ kann das Variogramm als Bilddatei (*.bmp, *.jpg, *.png) und durch “Tabellarische Ausgabe“ als Tabelle gespeichert werden. Mit dem Kontrollkästchen “Koordinaten bestimmen“ können mittels Mauszeiger im Variogramm-Fenster die Koordinaten abgegriffen werden.

Anmerkung:

Der Kriging-Algorithmus ist bei einer großen Anzahl von Messwerten nicht sehr gut geeignet. Schon für die Variogrammerstellung nimmt der Rechen- und Speicheraufwand mit der Anzahl der Messwerte quadratisch zu. Bei der eigentlichen Interpolation ist der Rechenaufwand zur Berechnung der LR-Zerlegung der Wichtungsmatrix schon proportional zu n^3. Bei jeder Erstellung eines Variogramms müssen für sämtliche Messpunktpaarungen diverse Rechenoperationen durchgeführt werden. Daher kann die Erstellung eines einzelnen Variogramms auch ohne eigentliche Kriging-Interpolation schon einen großen Zeitaufwand erfordern.

6.2.1.4 Gauß-Interpolation

Dieser Interpolationsalgorithmus erfordert keine weiteren Eingabeparameter.

Bei der Gauß-Interpolation wird durch die vorliegenden Messwerte eine Interpolationsfunktion *z(x, y)* gelegt, die sich aus einer Linearkombination von Gauß'schen Glockenfunktionen für die Messpunkte zusammensetzt. Die Auswertung dieser Funktion in einem Interpolationspunkt liefert den Interpolationswert z für diesen Punkt.

Es seien *n* Messpunkte (x_i, y_i), $i=1,...n$, mit zugehörigen Messwerten z_i vorhanden.

Die Gauß'schen Glockenfunktionen (Grundfunktionen g_i) für die Messwerte sind Rotationsflächen mit ihrer Achse im zugeordneten Messpunkt (x_i, y_i):

$$g_i(x,y) = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}}{m^2}}, i = 1,..., n$$

mit *m*: Mittel aller Messpunktabstände zueinander.

Die Grundfunktionen werden linear zu einer Flächenfunktion verknüpft:

$$z(x, y) = b_1 g_1(x, y) + b_2 g_2(x, y) + ... + b_n g_n(x, y)$$

Die zur Linearkombination verwendeten Koeffizienten b_j sind unbekannt und bilden die Scharparameter der Flächenfunktion. Die Bestimmung der Scharparameter ergibt sich aus der Forderung, dass die Messwerte auf der durch die Flächenfunktion definierten Fläche liegen müssen. Für jeden Messpunkt *i* ergibt sich eine Bedingungsgleichung:

$$z_i = z(x_i, y_i) = b_1 g_1(x_i, y_i) + b_2 g_2(x_i, y_i) + ... + b_n g_n(x_i, y_i)$$

Dies führt zu einem symmetrischen *(n x n)* Gleichungssystem für die *n* Unbekannten b_i , $i=1,...n$.

Nach der Ermittlung der Unbekannten b_i kann für jeden Netzknoten bzw. für jeden Elementmittelpunkt mit den Koordinaten *x* und *y* der zugehörige Funktionswert durch Einsetzen in die Flächenfunktion *z(x,y)* berechnet werden.

Um die Schwingungen in der Gauß'schen Flächenfunktion *z (x, y)* auszugleichen, wird diese noch mit einer weiteren Flächenfunktion

$$Z = Z(x, y) = B_1 g_1(x, y) + B_2 g_2(x, y) + ... + B_n g_n(x, y)$$

skaliert, deren Koeffizienten B_i , $i = 1, ... ,n$ durch die Bedingung

$$Z_i = Z(x_i, y_i) = B_1 g_1(x_i, y_i) + B_2 g_2(x_i, y_i) + ... + B_n g_n(x_i, y_i) = 1 \text{ für } i=1,..,n.$$

bestimmt werden.

Der Interpolationswert I in einem Punkt *(x, y)* errechnet sich damit zu

$I(x, y)= z(x, y) / Z(x, y)$.

6.2.2 Die Wahl des richtigen Interpolationsalgorithmus

Folgende Tabelle soll eine Hilfestellung bei der Wahl des richtigen Interpolationsalgorithmus geben. Die Empfehlungen beziehen sich hauptsächlich auf den Rechenaufwand und die daraus resultierende Rechenzeit.

	Anzahl Messpunkte			Bemerkung
	wenig (<5000)	mittel	viel (>5000)	
Abstandswichtung	0	(x)	x	Hang zur "Treppenbildung"
Flächeninterpolation	(x)	x	x	gut für digitalisierte Isolinien
Kriging	x	(x)	-	glatte Isolinien bei geeigneten Parametern, Parameterwahl aufwendig
Gauß-Interpolation	x	x	0	glatte Isolinien

Dabei bedeuten: - : schlecht / 0: weniger geeignet / (x): geeignet / x: gut geeignet

6.2.3 Interpolation von Grundwassergleichenplänen

Sollen Grundwassergleichen interpoliert werden, liefert eine einfache Interpolation der Messwerte in der Regel kein befriedigendes Ergebnis. Vielmehr liegen in den Modelldateien oft schon Informationen vor, die bei der Interpolation berücksichtigt werden sollten. Dazu gehören:

- feste Potentiale (POTE),
- Quellen/Senken-Terme (KNOT),
- Vorflutrandbedingungen (VORF und LERA bzw. LEKN als idealisierte Leakage-Daten),
- Gebiete gleichen unbekannten Potentials (GLEI),
- Mindestflurabstände,
- Q=0 Randbedingungen und
- Transmissivitäten (TRAN)

Die Festlegung der einzelnen Daten geschieht in der folgenden Menüerweiterung. Diese öffnet sich durch Aktivieren der Checkbox "Zusätzliche Stützstellen":

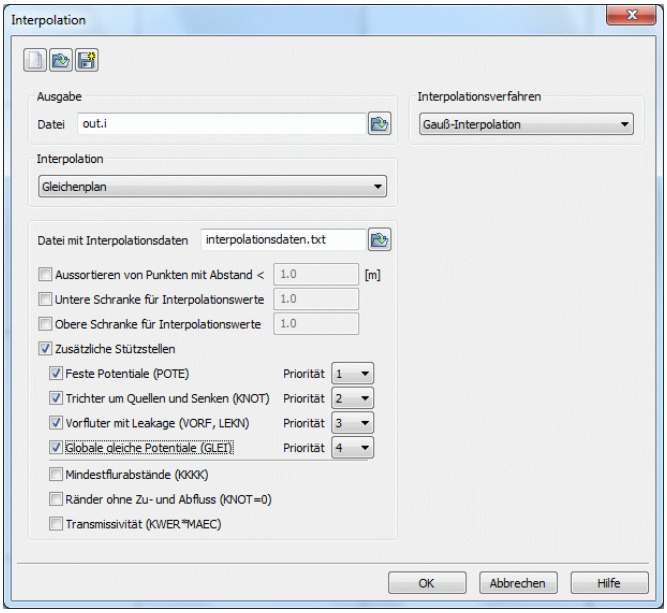


Abb. 183: Eingaben für die Interpolation eines Gleichenplans

Im jeweiligen lokalen Wirkungsbereich der aufgelisteten Einflussgrößen werden nach jedem Interpolationslauf ein oder mehrere Potential-Werte als zusätzliche Stützstellen für eine erneute Interpolation generiert. Als Basiswerte zur Ermittlung dieser Stützstellen werden die Ergebnisse aus einer ersten Interpolation der Messwerte (Datei mit Interpolationsdaten) auf die FE-Knoten verwendet.

Als „Zusätzliche Stützstellen“ erscheinen nur die Menüpunkte, für die das entsprechende Attribut bereits in der Modelldatei vorhanden ist.

Beispiel: Ist statt des Attributs „LEKN“ nur das Attribut „LERA“ in der Modelldatei vergeben, erscheint der Punkt „Vorfluter mit Leakage“ **nicht**! („LEKN“ muss explizit zugewiesen sein!)

(1) Festpotentiale: Die mit POTE belegten Knoten werden wie Messwerte als zusätzliche Sützstellen für eine erneute Interpolation angesetzt.

(2) Quellen und Senken: Für alle mit dem Attribut KNOT belegten Knoten werden auf allen innerhalb der abgeschätzten Reichweite liegenden Knoten Stützstellen erzeugt und mit den abgesenkten (bzw. erhöhten) Potentialen für eine erneute Interpolation belegt. Dazu müssen nach zuvor durchgeführter Modellprüfung flächendeckend Daten für K-Werte (KWER)und Elementmächtigkeiten des Grundwasserleiters vorliegen. Die Mächtigkeiten müssen nicht zwingend über die Datenart MAEC definiert sein, sondern können sich auch durch die Berechnung der Start- und maximalen Mächtigkeiten ergeben.

(3) Vorfluter mit Grundwasserkontakt: Für Knoten mit definiertem Vorflutpotential kann durch Definition eines Ersatz-(Leakage-)koeffizienten der qualitative Einfluss eines Gewässers auf das Grundwasser simuliert werden. Dazu sind an Knoten mit definiertem Vorflutpotential mit Hilfe des Attributs LEKN Werte zwischen 0 (kein Grundwasserkontakt) und 1 (vollständiger Grundwasserkontakt) zu definieren. An diesen Knoten werden dann zusätzliche Stützstellen generiert. Die Berechnung des Potentials erfolgt linear zwischen Vorflutpotential und interpoliertem Potential.

Achtung: Die Berücksichtigung dieser Einflussgröße erfordert ggf. das Ersetzen (!) des für die Modellrechnung erforderlichen Leakage-Koeffizienten LERA. Andere Berechnungen als die Interpolation von Gleichenplänen mit den hier verwendeten Ersatz-Koeffizienten können zu schwerwiegenden Fehlern führen! Stellen Sie daher nach Abschluss der Interpolation die Originalwerte wieder her oder löschen Sie die LEKN-Ersatzwerte aus der Netz-Datei per Editor oder über den Menüpunkt: *Attribute → löschen*.

(4) Gebiete gleichen unbekannten Potentials: Das Vorgehen zur Berücksichtigung von GLEI-Gebieten entspricht dem Vorgehen bei der Interpolation von Knotendaten. Die Potentiale der GLEI-Knoten werden durch einen gemittelten Wert ersetzt. Durch die anschließende Interpolation wird hier, im Gegensatz zur Berücksichtigung von GLEI-Gebieten bei der Interpolation von Knotendaten, die räumliche Wirkung dieser Gebiete berücksichtigt.

(5) Mindestflurabstände: Eine Kontrolle von Knotenpotentialen auf Einhaltung eines Mindestflurabstandes kann mit Hilfe des Attributs KKKK (allg. Knotendaten) erreicht werden. Dazu ist an den entsprechenden Knoten der Mindestflurabstand größer 0 anzugeben. Diese Werte werden dann vor und nach jedem Interpolationsdurchlauf auf Einhaltung geprüft.

(6) Ränder ohne Zu- und Abfluss: Zur Berücksichtigung dieser Randbedingung können die betroffenen Randabschnitte mit dem Attribut KNOT und dem Wert 0 gekennzeichnet werden. An den so entstehenden Rand-Polylinien werden dann durch Spiegelung der Rand-Elementmitten Zwangspunkte an beiden Seiten dieser Ränder erzeugt. Die Ermittlung des Potentials an diesen Punkten erfolgt mit Hilfe einer weiteren Interpolation in ggf. max. 5 Iterationsschritten.

(7) Transmissivitäten: Die Auswirkung der Durchlässigkeit (KWER) und der Startmächtigkeit (MAEC) kann durch abschnittsweise Ermittlung der Element-Transmissivitäten zwischen jeweils 2 Messstellen berücksichtigt werden. Die Erzeugung zusätzlicher Stützstellen erfolgt dabei nur in Bereichen ohne Stützstellen aus anderen Einflussgrößen und nur bei einer Änderung der Transmissivität zwischen zwei Messstellen von mindestens 10%.

Prioritäten:

Bei der Berücksichtigung der Einflussgrößen (1)-(4) kann die Situation entstehen, dass verschiedene Einflüsse Stützstellen auf demselben FE-Knoten generieren. Da dies zu lokalen Widersprüchen führen kann, ist eine eindeutige, lückenlose Priorität zur Berücksichtigung dieser Sonderfälle anzugeben. Dabei entspricht die Zahl 1 der höchsten Priorität.

Die Priorität wird in der Reihenfolge der Auswahl der Einflussgrößen vergeben, kann jedoch auch nachträglich bearbeitet werden. Für die weiteren Einflussgrößen ist eine Vergabe von Prioritäten nicht erforderlich, da die Stützstellen auf den bis dahin ermittelten Werten basieren. Die Abarbeitungsreihenfolge der Einflussgrößen (5)-(7) entspricht ihrer jeweiligen Fenster-Position.

Die Interpolation mit zusätzlichen Stützstellen erzeugt die Datei <stuetzTMP.txt> im Format (I6, F10, F10, F10, ohne Nummerierung), die alle zusätzlich zur Messdaten-Datei erzeugten Stützstellen mit den zugehörigen Potentialen enthält.

6.2.3.1 Umsetzung in SPRING

Wie schon beschrieben, ist es bei der Erstellung von Grundwassergleichenplänen sinnvoll, neben den gemessenen Werten an den Grundwassermessstellen auch Randbedingungen wie feste Potentiale, Randzuflüsse, Vorflutbedingungen (Vorfluthöhen und Leakage-Anbindung) oder offene Gewässerflächen in die Interpolation mit einzubeziehen. Insbesondere für eine automatische Kalibrierung mit dem Gradientenverfahren ist ein Grundwassergleichenplan unter Berücksichtigung hydrogeologischer Gegebenheiten unverzichtbar.

Für die Interpolation von Grundwassergleichenplänen sollte ggf. auf einer Kopie der aktuellen Netzdatei gearbeitet werden, da einige Attribute mit speziellen Werten belegt werden müssen, die nur für die Interpolation der Grundwassergleichen sinnvoll sind.

Auf unserer Homepage http://spring.delta-h.de steht im Bereich Download & Support unter Tutorial (DE) ein zip-Archiv ( ) mit Beispieldateien zum Download bereit. Im Verzeichnis Tut_Intpol_GwGl befindet sich ein Beispielnetz und eine Datei mit gemessenen Grundwasserständen, welche bei der Interpolation eines Grundwassergleichenplans verwendet werden soll.

Die folgenden Bearbeitungsschritte sind durchzuführen, um einen interpolierten Grund-wassergleichenplan zu erstellen.

Die Interpolation erfolgt (nach einer Modellprüfung) durch Auswahl der Interpolationsart "Gleichenplan" und durch Aktivieren der Checkbox "Zusätzliche Stützstellen".

Zur Berücksichtigung eines Gewässers mit Leakage-Anbindung muss an den entsprechenden Modellknoten ein Leakage-Faktor LEKN zwischen 0.0 (= kein Grundwasserkontakt) und 1.0 (= vollständiger Grundwasserkontakt = Festpotential) angegeben werden. Vorhandene LERA- und LEEL-Attribute sollten gelöscht werden. Erst dann wird dieses Gewässer in der Interpolation berücksichtigt.

Im Beispiel wird den Vorflutknoten 204 bis 215 der LEKN-Wert = 0.9 zugewiesen über *Attribute → Zuweisen → Direkt*. Für den Oberlauf (Knoten 216-221) wird angenommen, dass dort aufgrund der höher liegenden Bachsohle keine Grundwassseranbindung existiert. In diesem Bereich wird LEKN = 0.0 zugewiesen (s. Abbildung).

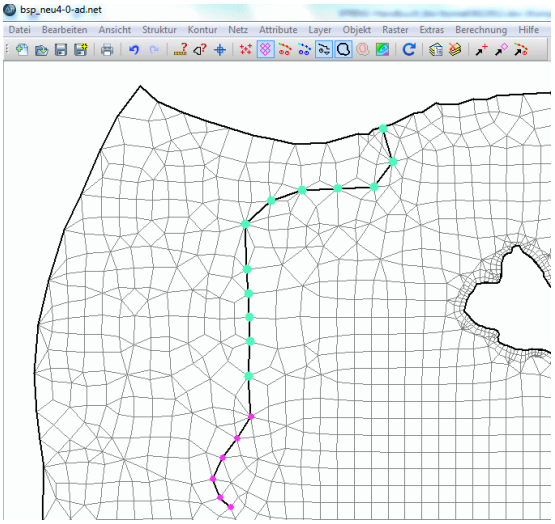


Abb. 184: Zugewiesene LEKN-Werte (pink = 0.0, türkis = 0.9)

Sollen die Randknoten ohne Zufluss explizit berücksichtigt werden, muss an diesen Knoten das Attribut KNOT = 0.0 für die Interpolation angesetzt werden.

Am westlichen und südlichen Rand wird daher den Randknoten das Attribut KNOT = 0.0 zugewiesen.

Nach Speichern der Datei und einer Modellprüfung können nun in der Erweiterung "Zusätzliche Stützstellen" die Checkboxen "Vorfluter mit Leakage" und "Ränder ohne Zu- und Abfluss" aktiviert werden.

Die Zahlen 1-4 hinter den ausgewählten (!) Attributen definieren, in welcher Priorität die Attribute bei der Interpolation berücksichtigt werden sollen:

Nach Auswahl der "Datei mit Interpolationsdaten" ("gwmesspkte_int_gwgl.txt") kann die Berechnung gestartet werden.

Im folgenden Bild sind die Isolinien einer Interpolation ohne (blau, d.h. nur die Messwerte der Datei "gwmesspkte_int_gwgl.txt" wurden berücksichtigt) und mit zusätzlicher Berücksichtigung von Stützstellen (rot) gegenübergestellt.

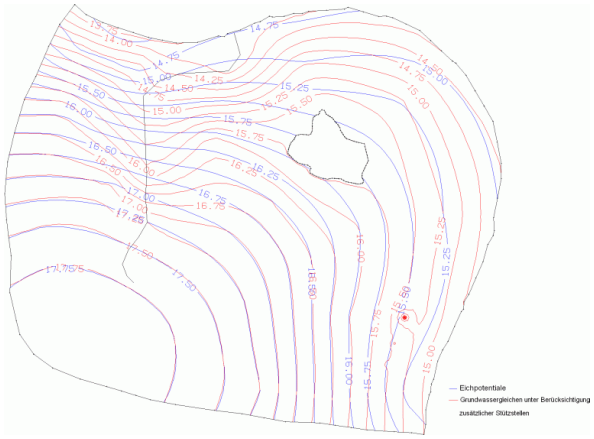


Abb. 185: Vergleich der Isolinien nach Interpolation ohne (blau) und mit (rot) Berücksichtigung von zusätzlichen Stützstellen

Das folgende Bild zeigt einen Ausschnitt im Bereich des Gewässers, in dem besonders deutlich wird, dass durch die Einbeziehung der Vorflutpotentiale in die Gleichenplanberechnung eine Grundwasseranbindung des Gewässers im Isolinienplan sichtbar wird.

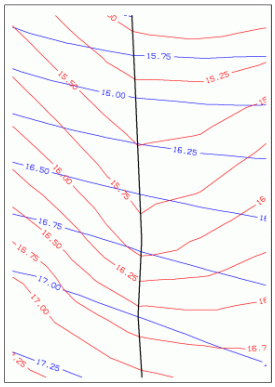


Abb. 186: Sichtbare Grundwasseranbindung des Gewässers durch Berücksichtigung der Vorflut-Leakage-Beziehung in der Interpolation

Die berechneten Grundwasserhöhen lassen sich in SPRING über *Attribute → Modelldaten/Berechnungsergebnisse importieren…* auf die gewünschte Kennung (z.B. EICH) speichern.

Achtung: Für die weiteren Strömungsberechnungen wird empfohlen, die Attribute KNOT = 0.0 zu löschen und Knoten mit LEKN-Werten auf geeignete Leakagewerte (LERA) zu setzen, da die Werte zwischen 0 und 1 in der Regel NUR für den Interpolationsvorgang sinnvoll sind!

Die während der Interpolation neu berechneten Stützstellen werden in der Datei "stuetzTMP.txt" abgespeichert. Werden diese Daten mit der Datei "gwmesspkte_int_gwgl.txt" zusammengefügt, ergibt sich eine Datei mit allen für den Grundwassergleichenplan erforderlichen Interpolationspunkten.

Neben den oben gezeigten Einflüssen ist mitunter die Berücksichtigung weiterer Parameter empfehlenswert:

Mit Hilfe des Attributs KKKK kann bereichsweise das Einhalten von Mindestflurabständen erzwungen werden. Hierzu ist der gewünschte Abstand zwischen Gelände- und Grundwasseroberfläche (in Metern) über den Wert für KKKK zu definieren. Ergibt sich bei der Interpolation in diesen Bereichen ein geringerer Flurabstand als vorgegeben, erfolgt eine Korrektur auf den Wert für KKKK.

Um den Einfluss der Durchlässigkeitsbeiwerte (KWER) und der Mächtigkeit (MAEC) der wassererfüllten Bodenzone zu berücksichtigen, kann eine transmissivitätsgewichtete Interpolation zwischen den Grundwassermessstellen vorgeschrieben werden, Voraussetzung hierfür ist eine flächendeckende Definition der Element-Attribute KWER und MAEC. Auf einer gedachten Linie zwischen zwei benachbarten Messstellen wird über die Transmissivität der durch die Linie geschnittenen Netzelemente eine Wichtung des hydraulischen Gradienten vorgenommen.

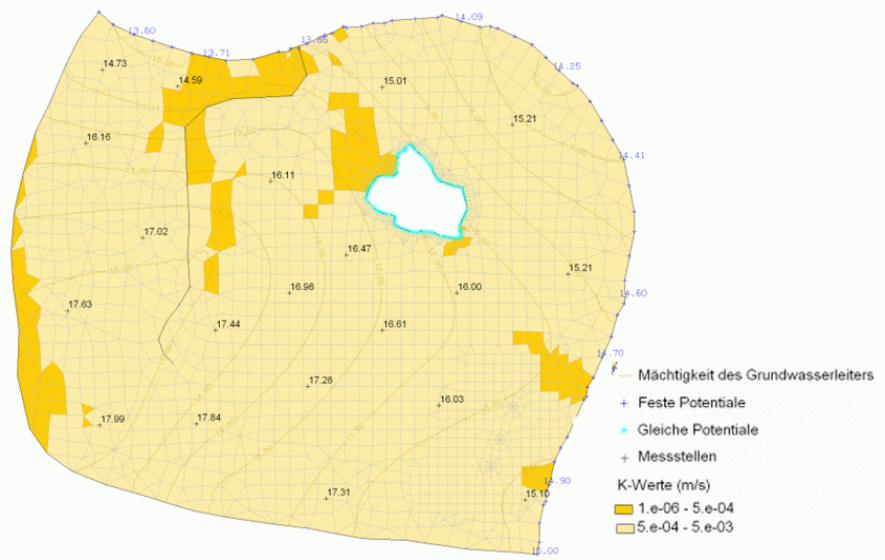


Abb. 187: Ausgangssituation mit den Modell-Startwerten

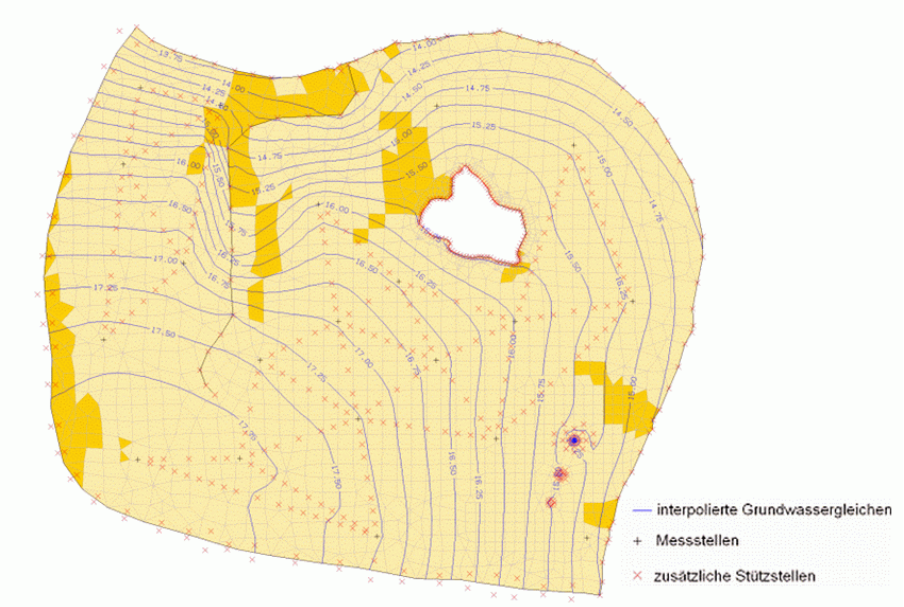


Abb. 188: Gleichenplan unter Berücksichtigung verschiedener hydrogeologischer Einflussgrößen

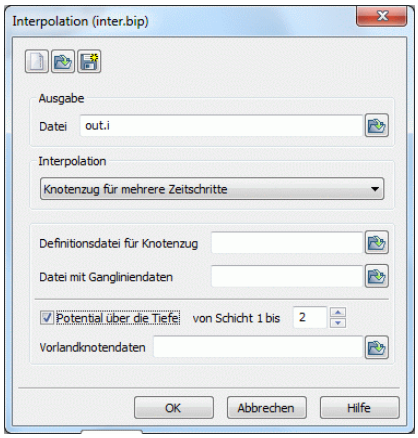
Es fällt auf, dass nicht zwischen allen Messstellen eine transmissivitätsbezogene Interpolation stattgefunden hat. Das liegt daran, dass nur zwischen den Messstellen interpoliert wird, zwischen denen eine Variation der Transmissivität um mehr als 10 % vorliegt und zwischen denen mehr als 3 Finite Elemente liegen.

Die Einbeziehung der Transmissivitäten in den Interpolationsalgorithmus erfordert bereits vor der Kalibrierung eine hinreichend genaue Kenntnis über die Durchlässigkeitsverteilung und die wassererfüllte Mächtigkeit des Systems. Da diese Programmfunktionalität z.Zt. nur zwischen allen Messstellen gleichzeitig angewendet werden kann, sollte sie nur bei ausreichender Anzahl von Grundwassermessstellen und/oder entsprechend grober Netzdiskretisierung zum Einsatz kommen.

6.2.4 Interpolation auf einen Knotenzug und Berücksichtigung des Vorlands

Mit dieser Interpolationsform können z.B. gemessene Pegelwerte eines Vorfluters auf die zum Vorfluter gehörenden Netzknoten interpoliert oder extrapoliert werden. Handelt es sich bei den Messwerten um Ganglinien,

können während eines Interpolationslaufs gleich mehrere Zeitpunkte bearbeitet werden. (Eine einmalige Interpolation von Daten auf einen Linienzug kann eventuell einfacher in der SPRING-Oberfläche durchgeführt werden.) Damit kann z.B. die instationäre Eingabedatei zur Modellierung einer Hochwasserwelle in einem Vorfluter erzeugt werden.



Dazu sind zwei Dateien erforderlich:

- In der ersten wird der Knotenzug (z.B. des Vorfluters) als eine Liste von Knotennummern im Format der Modelldatei definiert.
- In der zweiten Datei werden die Messwerte (einzeln oder als Ganglinie) im Format der Soll-Ganglinien eingegeben. Beim ersten bzw. letzten Messwert kann der Bezugspunkt durch Angabe einer Länge auch außerhalb des Modellgebiets gesetzt werden.

Achtung: Es werden **nur** für die **Zeitpunkte der ersten Ganglinie** in der Messwerte-Datei Daten interpoliert. Alle Daten anderer Zeitpunkte werden bei der Interpolation nicht berücksichtigt! Außerdem ist zu beachten: Ist der Wert eines Ganglinienpunktes zu einem dieser Zeitpunkte nicht definiert, wird der Wert **nicht** durch in der Zeit vorher oder nachher am Ganglinienpunkt definiert Werte sinnvoll ergänzt!

Um Missverständnisse zu vermeiden, sollten folgende Punkte beachtet werden:

- Die Zeitpunkte der Ganglinien, die in der Messwerte-Datei an verschiedenen Punkten des Knotenzugs definiert sind, sollten an allen Knoten dieselben sein.
- Fehlen an einigen Ganglinienpunkten zu einigen Zeitpunkten Werte, sind diese vorher durch sinnvolle Werte zu ergänzen.

Potential über die Tiefe

Bei 3D-Modellen können die aus diesen Daten interpolierten Potentialwerte an den Polygonzugknoten der 1.Schicht auch auf die Knoten tieferer Schichten gesetzt werden. Dies geschieht durch Aktivierung der Checkbox *Potential über die Tiefe* und Auswahl der tiefsten Schichtnummer.

Berücksichtigung des Vorlands

Im Rahmen der Interpolation kann zusätzlich eine instationäre Eingabedatei mit "Vorland-Knoten" erstellt werden. In der Datei steht eine Knotennummer pro Zeile. Für diese Knoten wird dann eine passende Potential-Randbedingung durch einfache Projektion auf den Polygonknotenzug berechnet. Diese Potential-Randbedingung wird automatisch abgeschaltet (Ausgabe mit negativer Knotennummer), wenn das so berechnete Potential unterhalb der Geländehöhe (GELA) des Knotens liegt. Die Betrachtung des Vorlands ist oft bei großen Vorflutern erforderlich, um zu definieren, inwieweit sich eine Hochwasserwelle auf das Hinterland des Vorfluters auswirkt, z.B. um Überflutungsflächen auszuschreiben.

Das Vorgehen lässt sich am besten anhand des folgenden Beispiels erläutern.

6.2.4.1 Umsetzung in SPRING

Erstellen der Knotenzug-Datei

Der Knotenzug wird in oder gegen die Fließrichtung des Vorfluters definiert (Reihenfolge der Knoten beachten!):

```
1,    2,    3,    5,    6,    4,    8,+
```

Da das Format der Knotenzug-Datei dem der Modelldatei entspricht, wird zur Erzeugung dieser Datei folgendermaßen vorgegangen:

In einer temporären Kopie der Modelldatei wird das Attribut LERA gelöscht. Stattdessen wird z.B. über die Linienstruktur des zu interpolierenden Gewässers ein beliebiger Wert auf LERA zugewiesen. Alle Knoten des Gewässers müssen in LERA enthalten sein (Kontrolle durch punktuelle Attribut-Darstellung). Nach Sichern des Modells wird im Editor der LERA-Datensatz kopiert und in eine neue ASCII-Datei eingefügt. Gegebenenfalls müssen "von-bis"-Zeichen durch die fehlenden Knotennummern ersetzt werden. Die fertige Datei darf nur die sortierten Knotennummern beinhalten.

Erstellen der Ganglinien-Datei

Als Beispiel zum Erstellen einer Ganglinien-Datei soll folgende Abbildung dienen. An zwei Stellen des Vorfluters liegen Pegelwerte vor. Bei einer Messstelle (P2) fehlt jedoch für eine Zeitangabe ein gemessener Wasserstand.

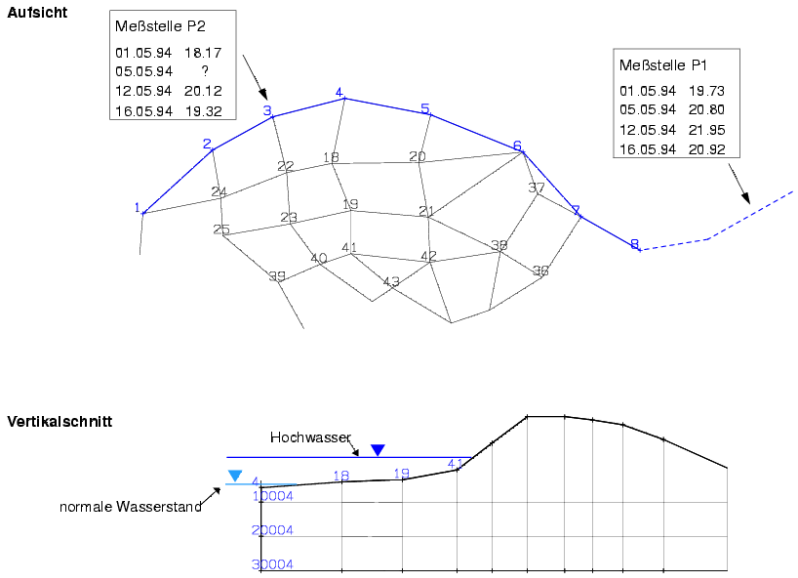


Abb. 189: Interpolation auf einen Vorfluter-Knotenzug mit "Vorland"

Die Ganglinien-Datei beginnt mit der Datumszeile. Nach einer Leerzeile folgen die Datenblöcke der einzelnen Knoten, wiederum getrennt durch eine Leerzeile:

```
DATUM    01.01.1994

8  987.00
01.05.1994   19.53
05.05.1994   20.80
12.05.1994   21.95
16.05.1994   20.92

3
01.05.1994   18.17
05.05.1994   19.28
12.05.1994   20.12
16.05.1994   19.32
```

Die 2. Zeile bedeutet hier, dass die angegebenen Messwerte nicht direkt für den Knoten 8 gelten, sondern für einen Punkt mit dem Abstand von 987 m entfernt. Der fehlende Wert (siehe Bild oben) für den Zeitpunkt 05.05.1994 an der Messstelle P2 (Knoten 3) wurde durch einen geschätzten Wert ergänzt.

Diese Ganglinien-Datei muss manuell im entsprechenden Format erzeugt werden.

Erstellen der Vorlandknoten-Datei

Zunächst wird in SPRING eine Linienstruktur des Hauptvorfluters (*Struktur → Neu → Linienzug*) erstellt. Dem "Pegelknoten" wird der jeweilige Scheitelwert der Hochwasserwelle zugewiesen.

Beispiel:

Pegel P1 = Knoten 1 → Scheitelwert = 15.94 m NN

Pegel P2 = Knoten 68 → Scheitelwert = 16.20 m NN

Pegel P3 = Knoten 112 → Scheitelwert = 17.75 m NN

Diese Hauptgewässer-Linienstruktur wird mit einer Genauigkeit von ca. 1000 m auf eine beliebige freie Knoten-Datenart (z.B. KKKK) zugewiesen. Dann werden die Datenarten GELA – KKKK = KKKK verrechnet und die Werte von KKKK auf Max. = 0 (*Attribute → Berechnen → Attribute verrechnen…* anschließend über *Attribute → Berechnen → Begrenzen…*) begrenzt.

Im nächsten Schritt werden alle Werte mit KKKK = 0 über *Attribute → Löschen* gelöscht*: KKKK*, *"nur Werte = 0.0"* und das Attribut als Kreisdarstellung (*Ansicht → Attribute darstellen → Isolinien/Flächenplots/Werte…*) angezeigt. Manuell werden nun die KKKK-Attribute gelöscht, die auf dem Haupt- oder Nebengewässer liegen, die z.B. hinter einem Deich liegen oder die generell zu weit im Hinterland liegen.

Nach einer Modellprüfung wird das Attribut KKKK exportiert über *Datei → Exportieren… → Formatierte Datenausgabe* im Format *Nr., Wert*. Die Ausgabe-Datei wird mit MS-EXCEL (o.ä.) auf die Spalte der Knotennummern reduziert. Damit ist die Vorlandknotendatei fertig gestellt.

Wenn alle notwendigen Dateien vorliegen, wird nach der Modellprüfung die Interpolation durchgeführt.

Folgendes Eingabefenster öffnet sich:

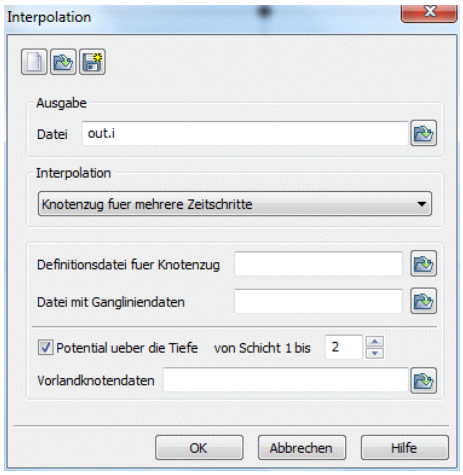


Abb. 190: Interpolation auf einen Knotenzug mit Berücksichtigung des Vorlands

Hier werden die Namen aller erstellten Dateien eingegeben.

In der Ausgabedatei "out.i" der Interpolation sind die instationären Potentialdaten für den Hauptvorfluter und die Vorlandknoten (markiert mit "-") enthalten. Werden die Potentiale des Vorfluters in mehreren Schichten berücksichtigt, befinden sich diese ebenfalls in der Ausgabedatei.

Diese wird in das Format einer instationären Datei (S. **34**) mit folgenden Kopfzeilen umgewandelt.

Beispiel einer instationären Eingabedatei, umgewandelt aus "out.i":

```
ZEITEINHEIT MENG JAHR
BEZUGSDATUM 01.01.2004
NUM 7


DATUM
02.01.2004


POTENTIALE (Knotenzug) Schicht 1-4
     2 18.084476 10002 18.084476 20002 18.084476 30002 18.084476     3 18.170000
 10003 18.170000 20003 18.170000 30003 18.170000     4 18.262771 10004 18.262771
 20004 18.262771 ...


POTENTIALE (Vorland)
   -18 18.227260   -19 18.296584   -20 18.368244   -21 18.416917   ...
   -41 18.306354


DATUM
...
```

Die Kennzeichnung **NUM 7** gibt an, dass die Knotennummern im Format I7 in die out.i-Datei geschrieben werden. (Normal für die instationäre Eingabedatei ist das Format I6).

6.2.5 Batchdatei Interpolation

Der Aufruf der Interpolation kann auch direkt ohne die Eingabemaske über die Kommandozeile erfolgen, sofern eine Batch-Datei *.bip im Verzeichnis vorhanden ist. Hierzu wird in das Verzeichnis gewechselt, in dem die Berechnung ausgeführt werden soll. Die Eingabe von *interpol* und dem Bestätigen mit der Enter-Taste führt dazu, dass eine Berechnung der Interpolation gestartet wird. Der voreingestellte Batch-Datei-Name ist *inter.bip*. Diese Datei wird im Verzeichnis gesucht. Mit dem Aufruf *interpol Dateiname* kann aber auch eine andere Batch-Datei angegeben werden (die Erweiterung "*.bip" wird bei Bedarf automatisch angehängt). Die Batch-Dateien können von Hand mit einem beliebigen Editor erstellt oder verändert werden.

Eine ausführliche Batchdatei kann in der Online-Hilfe eingesehen werden. Ebenso wird dort eine Batchdatei der Interpolation zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung gestellt.

6.3 Modellkalibrierung (Gradientenverfahren)

Aufruf durch: *SPRING → Berechnung → Modellkalibrierung (Gradientenverfahren)…*

Nachdem ein Grundwassermodell erstellt ist, d.h. alle bekannten bzw. abgeschätzten Parameter und Randbedingungen eingegeben sind, kommen bei einer Modellrechnung alle einzeln ermittelten Daten meist erstmals zusammen. Da viele Einflussgrößen nur geschätzt sind, ergeben sich in der Regel Abweichungen zu einem gemessenen Grundwasserzustand. Sind alle auffälligen Unverträglichkeiten (falsche Entnahmen, Randbedingungen etc.) beseitigt, ist der K-Wert normalerweise die unsicherste Größe.

Bei der Kalibrierung mit dem Gradientenverfahren können die Durchlässigkeitswerte der Elemente - ausgehend von einem Startwert - iterativ so verändert werden, dass eine gemessene Grundwasseroberfläche möglichst gut nachgerechnet wird. Es können folgende Modellarten bearbeitet werden:

- 2D-Horizontalmodelle
- 2D/3D-Modelle
- 3D-Modelle

Da die Kalibrierung durch stationäre Berechnungen erfolgt, ist es entscheidend, einen möglichst stationären Sollzustand zu verwenden! Der erstellte Sollzustand muss in sich widerspruchsfrei sein, d.h., die ermittelten Gradienten müssen immer mit der allgemeinen Fließrichtung übereinstimmen. Es können sich sonst unsinnige Durchlässigkeiten ergeben. Vorsicht ist vor allem bei Quellen und Senken sowie bei Wasserscheiden geboten.

Der *Sollzustand* wird durch die Eichpotentiale (Attribut EICH) definiert. Für jeden Knoten muss das Attribut EICH definiert sein. Zur Berücksichtigung aller Grundwasser beeinflussenden Daten sei auf die „Interpolation von Gleichenplänen“ (S. **255**) verwiesen.

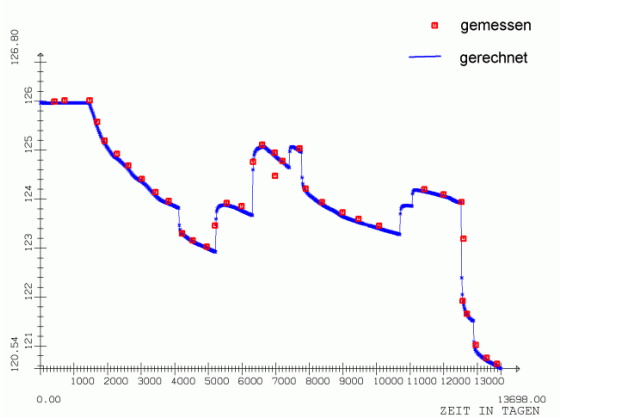


Abb. 191: Beispiel einer instationär kalibrierten Ganglinie

In einem späteren Kapitel wird die Kalibrierung mit Hilfe der inversen Modellierung beschrieben.

6.3.1 Iterative Kalibrierung der K-Werte

Die iterative Veränderung der K-Werte erfolgt mit Hilfe der Soll- und Ist-Gradienten nach der Formel:

$$k_{n+1} = (I / I_s) * k_n$$

mit:

k = Durchlässigkeit des Elements

I = Gradient der Modellrechnung

I_s = Gradient des Sollzustandes

n = Iterationsschritt

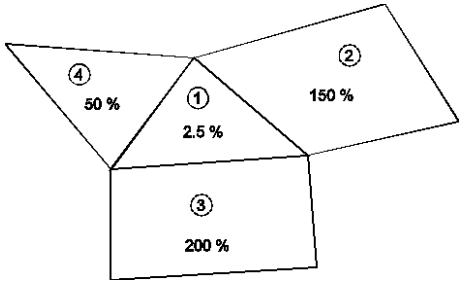
- Eine Änderung der K-Werte erfolgt jeweils in den Elementen, in denen der Winkel zwischen Soll- und Ist-Gradient kleiner als 60 Grad ist.
- Elemente mit anisotropen K-Werten (Verwendung von ZONE und MATE) werden nicht kalibriert!
- Die kalibrierten K-Werte können durch Angabe von minimalen bzw. maximalen K-Werten (KMIN / KMAX) nach oben und unten beschränkt werden.

6.3.2 Lokale Dämpfung der relativen K-Wert-Änderung

Bei der Änderung des relativen K-Werts in einem Element erfolgt durch Berücksichtigung der K-Werte der benachbarten Elemente automatisch eine lokale Dämpfung.

Mit dieser Dämpfung werden die durch die Iteration entstehenden starken Schwankungen der K-Werte angrenzender Elemente verringert. Für jedes Element wird die berechnete relative Änderung (in %) des K-Wertes noch einmal in Beziehung zu den relativen Änderungen der K-Werte in den Nachbarelementen geglättet. Die Vorgehensweise lässt sich am einfachsten an einem Beispiel (2D) erläutern:

Element	K-Wert des letzten Iterationsschritts	Neu berechneter K-Wert	%-Änderung
1	0,40	0,01	2,5 %
2	0,30	0,45	150 %
3	0,35	0,70	200 %
4	0,30	0,15	50 %



Die Änderung des K-Wertes in Element 1 berechnet sich nun als Mittelwert aus:

- berechneter % - Änderung in Element 1 und
- mittlerer % - Änderung in den Nachbarelementen

wie folgt:

½ * (2,5 % + (150 % + 200 % + 50 %)/3) = ½ * (2,5 % + 133,33 %) = 67,92 %

→ Der K-Wert in Element 1 wird auf 67,92 % von 0,40 = 0,271 gesetzt.

Bei 3D-Modellen gehen zusätzlich zu den horizontal angrenzenden Nachbarelementen auch die vertikal angrenzenden Elemente in die Berechnung ein. Eine Berücksichtigung von „Schichtungen“, d.h., Bereiche mit K-Werten unterschiedlicher Größenordnungen (Leiter/Stauer) ist ebenfalls automatisch vorgesehen: Nachbarelemente mit K-Werten anderer Größenordnungen gehen in die Wichtung mit kleineren Wichtungsfaktoren ein.

6.3.3 Eingabeparameter

Nach Auswahl des Menüs *Berechnung → Modellkalibrierung (Gradientenverfahren)…* erscheint das folgende Eingabefenster:

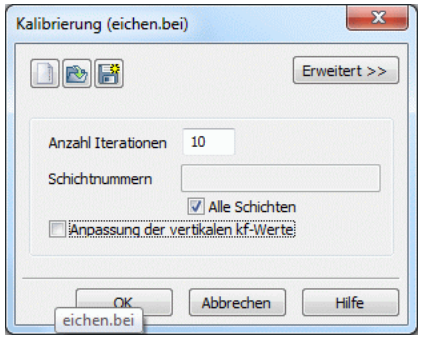


Abb. 192: Eingaben für die Kalibrierung (3D)

Beim Aufruf der Eingabemaske liest das Programm die Batch-Datei mit dem voreingestellten Namen *eichen.bei* ein (sofern sie vorhanden ist), und die Standardeinstellungen in der Maske werden ggf. entsprechend verändert.

Anzahl der Iterationen

Mit der Anzahl der Iterationen wird festgelegt, wie oft die iterative Veränderung der K-Werte erfolgen soll.

Schichtnummern (nur 3D-Modell)

Bei 3D-Modellen ist es möglich, nur die Elemente von ausgewählten Elementschichten (z.B. nur die oberste Schicht) zu kalibrieren. Durch Auswahl der Schichtnummern wird festgelegt, welche Schichten oder ob alle Schichten in die Iteration einbezogen werden. Besteht z.B. ein ausgeprägter, gut bekannter Nichtleiter zwischen zwei Grundwasser-Stockwerken, können die K-Werte dieser Schicht unverändert bleiben.

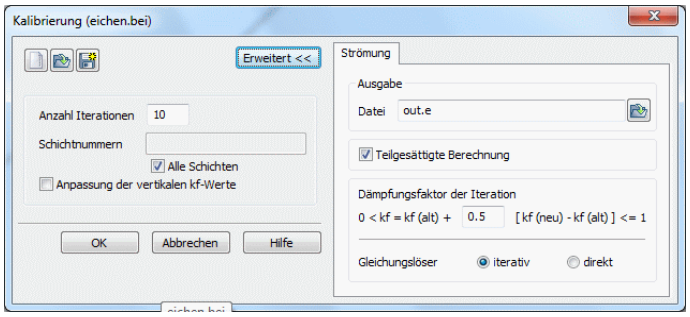
Anpassung der vertikalen K-Werte (nur 3D-Modell)

Die Änderung des vertikalen K-Wertes kann in 3D-Modellen ebenfalls gesteuert werden. Die vertikalen K-Werte können konstant gehalten werden, oder sie werden auf Wunsch während der Iteration jeweils so verändert, dass das ursprüngliche Verhältnis zwischen vertikalem und horizontalem K-Wert konstant bleibt. Aufgrund des Verhältnisses der Gradienten werden nur die horizontalen K-Werte angepasst.

Die Buttons im Kopf des Eingabefensters ermöglichen das Zurücksetzen der Eingabeparameter (), das Öffnen einer vorhandenen Batch-Datei () oder das Speichern der aktuellen Batch-Datei unter einem anderen Namen ().
Die Buttons am unteren Rand des Eingabefensters starten die Berechnung (*OK-Button*), schließen den Dialog (*Abbrechen*) oder öffnen die digitale Hilfe (*Hilfe-Button*).

6.3.4 Erweiterte Einstellungen

Durch Aktivieren der Schaltfläche „Erweitert“ lassen sich weitere Parameter festlegen:



Ausgabe

Hier wird der Name der Ausgabedatei festgelegt. Voreingestellt ist der Name *out.e*.

Anpassung der Mächtigkeit (2D) bzw. teilgesättigte Berechnung (3D)

Bei 3D-Modellen ist eine Berücksichtigung der teilgesättigten Bereiche möglich (vgl. Berechnung der freien Oberfläche). Die entsprechenden Elementfaktoren für die ungesättigten Elemente werden aus dem vorgegebenen Sollzustand berechnet. Bei Horizontalmodellen ist es ebenfalls möglich, eine Anpassung der Mächtigkeit vorzunehmen, die dann aus der gemessenen Grundwasseroberfläche und der Modellunterfläche berechnet wird (unter Berücksichtigung einer eventuell definierten max. Mächtigkeit). Dies ist jedoch nur sinnvoll,

wenn die in der Modellprüfung protokollierten Mächtigkeiten in manchen Elementen eventuell nicht mit der wassererfüllten Mächtigkeit übereinstimmen (was in der Regel nicht der Fall sein sollte).

Dämpfung der K-Wert-Änderung eines Elements

Eine Dämpfung empfiehlt sich, da die Iteration bei 'schlechtem' Ausgangszustand leicht oszilliert und K-Werte angrenzender Elemente extrem schwanken können. Eine lokale Dämpfung der Änderung des relativen K-Werts durch Berücksichtigung der K-Werte in den benachbarten Elementen wird automatisch durchgeführt und wurde bereits oben beschrieben.

Für eine einfache Dämpfung der K-Wert-Änderung von einer Iteration zur nächsten wird vom Anwender an dieser Stelle ein Dämpfungsfaktor vorgegeben.

Statt des neu berechneten K-Wertes k_{n+1} (vgl. iterative Kalibrierung) wird

$$k_{neu} = k_n + x * (k_{n+1} - k_n) \text{ mit } 0 < x <= 1$$

verwendet. Voreingestellt ist ein Dämpfungsfaktor von *x = 0.5*.

Gleichungslöser

Als Gleichungslöser kann entweder der iterative PCG-Löser oder der direkte Cholesky-Gleichungslöser gewählt werden. Wegen seiner Rechenzeit- und Speicherplatzvorteile empfiehlt sich ab ca. 500 Knoten der iterative Gleichungslöser. Im Gegensatz zum direkten Verfahren wird die Lösung zwar nicht exakt berechnet; der Fehler ist aber in der Regel vernachlässigbar gering. Eine Genauigkeitsprüfung kann anhand der in der Ausgabedatei angegebenen Massenbilanz erfolgen.

6.3.5 Ergebnisse der Kalibrierung

Die iterierten horizontalen und vertikalen K-Werten in der Einheit [m/s] können über *Attribute → Modelldaten/Berechnungsergebnisse importieren…* direkt auf das Attribut KWER bzw. KWEV gespeichert werden.

Daneben liefert die FE-Berechnung folgende Ergebnisse:

- Potentiale an allen Knoten,
- Flurabstände an allen Knoten, sofern in der Modelldatei die Geländehöhen definiert sind,
- Reaktionswerte (Ein- bzw. Ausflussmengen) für alle Knoten mit vorgegebenem Potential,
- Leakage-Mengen für Knoten und Elemente, sofern die Leakagekoeffizienten (LERA, LEKN, LEEL) und Vorfluthöhen in den Modelldaten angegeben wurden und
- Massenbilanz der Gesamtmenge aller Zu- und Abflüsse. Diese werden in Relation zur Gesamtmenge der Reaktionsmengen gestellt. Die Summe aller eingegebenen und errechneten Mengen muss annähernd Null ergeben. Außerdem werden alle Zuflüsse (positiv) den Abflüssen (negativ) gegenübergestellt und, sofern in der Netzdatei vorgegeben, die über die Datenart BILK und BILE zusammengefassten Bilanzbereiche bilanziert.

6.3.6 Batchdatei Modellkalibrierung

Der Aufruf der Modellkalibrierung kann auch direkt ohne die Eingabemaske über die Kommandozeile erfolgen, sofern eine Batch-Datei *.bei im Verzeichnis vorhanden ist. Hierzu wird in das Verzeichnis gewechselt, in dem die Berechnung ausgeführt werden soll. Die Eingabe von *eichen* und dem Bestätigen mit der Enter-Taste führt dazu, dass eine Berechnung der Interpolation gestartet wird. Der voreingestellte Batch-Datei-Name ist *eichen.bei*. Diese Datei wird im Verzeichnis gesucht. Mit dem Aufruf *eichen Dateiname* kann aber auch eine andere Batch-Datei angegeben werden (die Erweiterung "*.bei" wird bei Bedarf automatisch angehängt). Die Batch-Dateien können von Hand mit einem beliebigen Editor erstellt oder verändert werden.

Eine ausführliche Batchdatei kann in der Online-Hilfe eingesehen werden. Ebenso wird dort eine Batchdatei der Modellkalibrierung zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung gestellt.

6.4 Modellkalibrierung (Inverses Verfahren)

Aufruf durch: *SPRING → Berechnung → Inverse Kalibrierung…*

Es wird unterschieden nach der Berechnungsart:

→ Stationäre Strömung…

→ Instationäre Strömung…

→ Stofftransport (dichteabhängig)…

→ Wärmetransport…

Nach Erstellung des Grundwassermodells und Eingabe aller Daten erfolgt die Kalibrierung. SPRING unterstützt die “Kalibrierung mit dem Gradientenverfahren“ oder dem Verfahren der inversen Modellierung.

Die inverse Modellierung ist ein iterativer Prozess, in dem das System Schritt für Schritt erforscht wird und dieses immer wieder neu beurteilt werden muss. Die Sinnhaftigkeit der berechneten Werte muss vom Anwender immer wieder überprüft werden.

Nach Korrektur von falschen Messwerten oder sonstigen Unverträglichkeiten der Eingabedaten bleiben folgende Modellparameter als unsichere Größen bestehen:

- Durchlässigkeiten (K-Werte)
- Leakagekoeffizienten (LERA, LEKN)
- Randzu- oder -abflüsse (VORF + LERA)
- Speicherkoeffizienten (instationäre Betrachtung, KSPE)

Zur Bestimmung dieser unbekannten Modellparameter p dienen in der Regel gemessene Potentiale an Grundwassermessstellen. Für instationäre Rechnungen sollten auch Ganglinien von Potentialen über einen gewissen Zeitraum für einige Messstellen vorliegen. Außerdem können z.B. Abflussmessungen Aussagen über die Größenordnung von Leakagemengen liefern, und es können Randzuflussmengen oder Randabflussmengen bekannt sein. Dies sind Messwerte oder Beobachtungsdaten (m).

In der Berechnung des direkten Problems werden aus einem Datensatz geschätzter, aber ungesicherter Modellparameter p die Potentiale und Mengen (Messgrößen m) berechnet. Bei dem inversen Verfahren ist hingegen das inverse Problem zu lösen, bei dem die ungesicherten Modellparameter p aus den gesicherten Messgrößen m bestimmt werden:

Verfahren	Eingangsdaten	Berechnete Daten
direkt	Modellparameter p	Messgrößen m
invers	Messgrößen m	Modellparameter p

Die Modellparameter sind bei der inversen Problemstellung die abhängigen Variablen, die aus den unabhängigen Beobachtungsgrößen zu bestimmen sind. Ziel der Kalibrierung ist, die unbekannten Modellparameter so abzuschätzen, dass ein gemessener Zustand durch das numerische Modell bestmöglich wiedergegeben wird.

Bei der Formulierung des inversen Problems ist zu berücksichtigen, dass das hydrogeologische Konzept fehlerbehaftet sein kann. Durch eine statistische Formulierung des inversen Problems können Fehler in der anschließenden Interpretation der gemessenen Daten relativiert werden.

6.4.1 Modellparameter als unbekannte Größen

Die zu bestimmenden, unbekannten Modellparameter, die mithilfe der inversen Modellierung optimiert werden können, sind die folgenden Eingangsdaten:

- Durchlässigkeiten:

  Im 3D-Modell können horizontale (KWER) und vertikale (KWEV) K-Werte gleichzeitig optimiert werden. Es können horizontale K-Werte optimiert und die vertikalen K-Werte gleichzeitig festgehalten werden, oder die vertikalen K-Werte werden optimiert und die horizontalen K-Werte werden festgehalten.

  In den genannten Fällen besteht keine Möglichkeit, auf den Anisotropie-Faktor zwischen horizontalem und vertikalem K-Wert Einfluss zu nehmen. Es können jedoch die horizontalen K-Werte optimiert und dabei das Verhältnis zwischen horizontalem und vertikalem K-Wert über die Eingabe von KFVH (*Attribute → Extras → Faktor vertikaler/horizontaler K-Wert (KFVH) anpassen…*, Voreinstellung: globales KFVH = 0.1) festgehalten werden.
- Speicherkoeffizienten:

Der Speicherkoeffizient (Datenart KSPE) im Horizontalmodell bzw. die Porositäten (PORO) zur Berechnung des Speicherkoeffizienten bei Vertikal- oder 3D-Modellen können optimiert werden (vgl. Ausführungen zum Speicherkoeffizienten im Kapitel “Instationäre Berechnung“ auf Seite **291**).

- Leakagekoeffizienten:

  Die Leakagekoeffizienten für Polygonzüge (Datenart LERA, pro lfd. m) können optimiert werden.

Zu diesen Parametern p gibt es meist Vorkenntnisse, beispielsweise in Form von Labormessungen, Interpretationen von Feldversuchen oder subjektiven Vorabschätzungen. Diese Vorkenntnisse dienen als Startwerte für die Iteration des inversen Problems. Sie müssen für einen Optimierungslauf in einer gesonderten Datei definiert werden. Diese Datei wird im folgenden Parameterdatei genannt. Der Aufbau der Parameterdatei wird im Kapitel "Umsetzung in SPRING" beschrieben.

6.4.2 Beobachtungsdaten und Messwerte

Die Beobachtungsdaten dienen zur Beurteilung der Güte des aktuellen Parametersatzes p. Ihre Auswertung liefert nach einem direkten Rechenlauf in der Regel den Hauptanteil am aktuellen Fehler f(p). Zurzeit sind folgende Beobachtungsdaten möglich:

- Potentiale an einzelnen Knoten des Modells (Datenart POTE)
- Leakagemengen (z.B. aus Abflussmessungen) als Summe für einen bestimmten Abschnitt eines Vorfluters, der über die Datenart LERA in das Modell eingebunden ist (Datenart LKNO, nur inverse Modellierung),
- Reaktionsmengen als Summe für eine bestimmte Anzahl Knoten, an denen Festpotentiale im Modell vorgeschrieben sind (Datenart KNOT).

Alle Daten können bei instationären Rechnungen zu verschiedenen Zeitpunkten vorliegen.

Welche Beobachtungsgrößen verwendet werden, ist unabhängig von der Wahl der zu optimierenden Modellparameter und dem Dargebot von Messdaten. Es können z.B. K-Werte anhand von beobachteten Potentialen und Leakagemengen optimiert werden, ohne dass auch Leakagekoeffizienten optimiert werden. Umgekehrt müssen für die Optimierung von Leakagekoeffizienten nicht notwendigerweise Leakagemengen als Beobachtungsdaten vorliegen.

Die Anzahl der zur Verfügung stehenden Beobachtungsdaten hat einen wesentlichen Einfluss auf den Erfolg der inversen Modellierung. Je mehr Beobachtungsdaten zur Verfügung stehen, umso größer ist die Aussicht, einen “optimalen“ Parametersatz zu finden. Eine erfolgreiche Optimierung ist jedoch nur dann zu erreichen, wenn auch die Zonierung der zu optimierenden Parameter sinnvoll ist. Eine sinnvolle Zonierung zu definieren, ist die Hauptaufgabe des Bearbeiters bei der inversen Modellierung.

Die Beobachtungsdaten müssen für einen Optimierungslauf in einer gesonderten Datei definiert werden. Diese Datei wird im folgenden Beobachtungsdatei genannt. Der Aufbau der Datei wird im Kapitel "Umsetzung in SPRING" beschrieben.

6.4.3 Zonierung der Parameter

Aufgrund des mit der Anzahl der zu optimierenden Parameter überproportional steigenden Rechenaufwandes ist es nötig, die mit der inversen Modellierung zu bestimmenden Modellparameter zu zonieren, d.h., die Parameter in Zonen gleicher Werte zusammenzufassen. Es besteht in SPRING die Möglichkeit, die K-Werte, die Speicherkoeffizienten und die Lekagekoeffizienten zu zonieren. Hierzu sind die in den folgenden Kapiteln beschriebenen Attribute im Modell zu zuweisen.

6.4.3.1 Zonierung der K-Werte und Speicherkoeffizienten

K-Werte (horizontal und vertikal), Speicherkoeffizienten im Horizontalmodell bzw. Porositäten zur Berechnung des Speicherkoeffizienten im Vertikal- oder 3D-Modell sind Daten, die für alle Elemente definiert werden müssen. Es kann aber aufgrund des Rechenaufwands nicht für jedes Element bzw. jeden Knoten ein eigener Parameter optimiert werden. Daher werden diese Daten zoniert.

Zur Zonierung dieser Parameter werden folgende Modelldatenarten zur Verfügung gestellt:

- Parameter Z-KW zur Zonierung von K-Werten (KWER, KWEV)
- Parameter Z-SP zur Zonierung von Speicherkoeffizienten (KSPE).

Die Festlegung der Zonen erfolgt in der Modelldatendatei. Die Zonennummern müssen ganzzahlig > 0 sein. Liegen einige Elemente/Knoten in keiner mit Z-KW bzw. Z-SP definierten Zone, wird während der Modellprüfung automatisch eine zusätzliche Zone mit der Zonennummer 0 erzeugt, in der alle nicht erfassten Elemente bzw. Knoten liegen.

Innerhalb einer Zone gibt es drei Möglichkeiten:

- Wird nur für ein Element/Knoten der Zone ein entsprechender Start-Parameter in der Parameterdatei definiert, erhalten alle Elemente/Knoten dieser Zone diesen konstanten Parameterwert. In diesem Fall ist es egal, für welches Element/Knoten der Zone dieser Parameter definiert wurde.

  → Es wird innerhalb dieser Zone nur ein Parameter optimiert.
- Werden für mehrere Elemente/Knoten einer Zone Start-Parameter in der Parameterdatei definiert, werden aus diesen Parametern (nach einem auszuwählenden Interpolationsalgorithmus) für alle Elemente/Knoten dieser Zone Werte interpoliert. Parameterwerte anderer Zonen gehen bei der Interpolation nicht ein.

  → Es werden innerhalb dieser Zone mehrere, nämlich die zur Interpolation verwendeten, Parameter optimiert.
- Wird für kein Element/Knoten der Zone ein Start-Parameter in der Parameterdatei definiert, so werden zur Berechnung die entsprechenden Daten aus der Modelldatei verwendet.

  → Innerhalb dieser Zone werden keine Parameter optimiert. Es wird immer mit den festen Werten für K-Werte oder Speicherkoeffizienten aus der Modelldatei gerechnet (Datenarten KWER, KWEV, bzw. KSPE).

Sollen also für Elemente bzw. Knoten einer Zone die Werte aus der Modelldatei festgehalten werden, darf für diese Zone keine Eingabe eines Start-Parameters in der Parameterdatei erfolgen.

Werden umgekehrt für bestimmte Zonen ein oder mehrere Start-Parameter in der Parameterdatei festgelegt, so sind die in der Modelldatei eingegebenen Daten für die Elemente/Knoten dieser Zonen ohne Bedeutung, da sie während des Optimierungslaufs durch den berechneten Wert ersetzt werden. Werden alle Elemente/Knoten zoniert und für alle Zonen Start-Parameter in der Parameterdatei definiert, kann in den Modelldateien die Eingabe von K-Werten bzw. Speicherkoeffizienten entfallen.

6.4.3.2 Zonierung von Leakagekoeffizienten

Zur Zonierung des Optimierungsparameters LERA wird die Datenart Z-LR zur Verfügung gestellt. Sie definiert einen Knoten-Polygonzug, für den ein polygonzugbezogener Leakagekoeffizient (Datenart LERA) vorgeschrieben werden soll.

Achtung: Formal ist es notwendig, allen Polygonzügen, für die mit Hilfe der inversen Modellierung ein Leakagekoeffizient optimiert werden soll, zusätzlich in den Modelldateien einen Leakagekoeffizienten mit LERA zuzuweisen.

- Wird in der Parameterdatei ein Start-Parameter für den Leakagekoeffizienten einer Z-LR-Zone angegeben, wird dieser Parameter optimiert. Aus dem Start-Parameter wird für die Berechnung des direkten Problems ein knotenbezogener Leakagekoeffizient durch Einbeziehung der Streckenlänge zwischen den Polygonzugknoten errechnet.

  Der zusätzlich in den Modelldateien über LERA formal eingegebene Leakagekoeffizient ist in diesem Fall ohne Bedeutung.
- Wird in der Parameterdatei kein Start-Parameter für den Leakagekoeffizienten einer Z-LR-Zone angegeben, wird für diesen Polygonzug mit dem Leakagekoeffizienten aus der Modelldatei gerechnet.

6.4.4 Formulierung des inversen Problems

Die folgenden Ausführungen sollen eine Orientierungshilfe für die praktische Anwendung der inversen Modellierung zur Verfügung stellen. Sie haben nicht das Ziel, eine korrekte mathematische Formulierung des inversen Problems wieder zu geben. Hier sei auf weiterführende Literatur verwiesen.

6.4.4.1 Minimierung der Zielfunktion

Ziel der inversen Modellierung ist die Minimierung der Zielfunktion. Die Zielfunktion setzt sich aus zwei Hauptanteilen zusammen:

$ZF = ZF_{obs} + ZF_{par}$

Es gehen sowohl die gemessenen Werte (ZF_{obs}, z.B. Potentiale, Mengen) als auch die Schätzwerte der Parameter (ZF_{par}, z.B. K-Werte, Leakagekoeffizienten, Speicherkoeffizienten) in die Zielfunktion ein. Die Anteile werden weiter aufgeteilt:

$ZF_{obs} = ZF_{POTE} + ZF_{LEAK} + ZF_{KNOT}$

$ZF_{par} = ZF_{KWER}+ZF_{LERA} + ZF_{KSPE}$

Um die Zielfunktion zu ermitteln, wird jedem Parameter und Messwert eine Standardabweichung σ zugeordnet. Diese entspricht etwa dem zu erwartenden Fehler der Größe.

Jeder Messwert m und jeder Parameterwert p wird nach jedem Schritt der inversen Kalibrierung wie folgt ausgewertet (Methode vom Typ 'kleinste Quadrate' (least squares)):

$$ZF_m = \left(\frac{m_{gem} - m_{ber}}{\sigma_m} \right)^2 \quad \text{bzw.} \quad ZF_p = \left(\frac{p_{gesch} - p_{ber}}{\sigma_p} \right)^2$$

Für die numerische Lösung dieses nichtlinearen Minimierungsproblems werden bei der inversen Modellierung in SPRING zwei verschiedene mathematische Algorithmen angeboten:

- ein Gauß-Newton-Verfahren nach Levenberg-Marquard und
- ein Gradienten-Verfahren nach der Quasi-Newton-Methode

Die Zielfunktionsanteile jedes Messwertes und jedes Parameters werden summiert. Bei Wahl einer kleinen Standardabweichung σ, resultiert ein großer Anteil an der Zielfunktion und somit eine hohe Gewichtung. Aus einer großen Standardabweichung σ resultiert ein kleiner Anteil an der Zielfunktion und somit eine kleine Gewichtung.

Die folgende Tabelle soll den Einfluss der Gewichtung aufzeigen.

1. Zuerst sind die zwei Potentiale H1 und H2 aufgelistet. Das Residuum ist für beide Messstellen gleich, jedoch ergibt sich ein hundertfach größerer Anteil an der Zielfunktion für H2, da dieser Wert mit 10 cm Standardabweichung stärker gewichtet ist als H1 mit 1 m Standardabweichung.
2. Ein anderer Effekt lässt sich mit den Mengen Q1 und Q2 veranschaulichen. Je nachdem, in welcher Einheit gerechnet bzw. ausgewertet wird, ergibt sich bei gleicher Standardabweichung eine andere Gewichtung.
3. Deshalb sollten für Mengen immer Standardabweichungen im Bereich von 10-25% der Messungen (je nach Genauigkeit) gewählt werden. Q1* und Q2* haben eine Standardabweichung von 10% - die Anteile der Zielfunktion sind in der gleichen Größenordnung.
4. Als letzte Beispielgröße ist ein Parameterwert für den K-Wert dargestellt. Da dieser Wert logarithmisch verarbeitet wird, sollte die Standardabweichung in Größenordnungen angegeben werden (0.1,…, 1).

		berechnet	gemessen	Residuum (berechnet-gemessen)	Standardabw. (Sigma) (Messfehler)	Anteil ZF (Residuum²/sigma²)
1.	H1	65.285	66.040	-0.755	1	0.57
	H2	66.985	66.230	0.755	0.1	57.0
2.	Q1 [m³/d]	-10000	-5000	-5000	1	25000000
	Q2 [m³/d]	-0.116	-0.058	-0.058	1	0.0033
3.	Q1* [m³/d]	-10000	-5000	-5000	500	100
	Q2* [m³/d]	-0.116	-0.058	-0.058	0.006	93
4.	KWER [m/s]	1.5e-3	1.0e-03	Log(1.5e-3)-log(1.e-3)=-0.699	0.3	5.43

Die folgende Abbildung soll vereinfacht aufzeigen, weshalb die Startwerte der Parameter entscheidend sein können. Die Zielfunktion ist für verschiedene Parameterwerte unterschiedlich groß. Es gibt ein absolutes Minimum, sowie diverse lokale Minima. Startet man die inverse Modellierung zum Beispiel mit dem Startparameter 1, strebt die Zielfunktion in das zugehörige lokale Minimum. Die Zielfunktion für den Startparameter 2 befindet sich auf einem lokalen Maximum und kann in eines der beiden lokalen Minima streben. Die Zielfunktion ist für den Startparameter 3 am höchsten, jedoch kann der Algorithmus von diesem Startpunkt aus das absolute Minimum erreichen. Es ist also durchaus sinnvoll, den Optimierungsprozess mehrmals mit verschiedenen Parameterwerten zu starten.

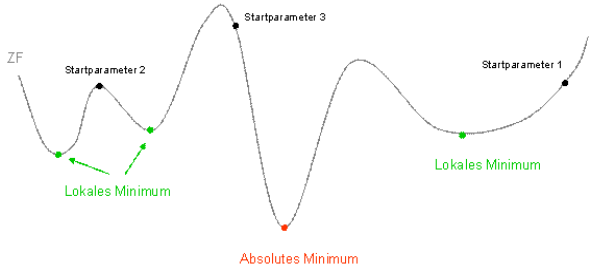


Abb. 193: Zielfunktion der inversen Modellierung

6.4.5 Umsetzung in SPRING

Vorbereitung in der Modelldatei

Die zu kalibrierenden Parameter müssen zunächst in der Modelldatei definiert werden. So werden zum Beispiel Bachabschnitte zusammengefasst oder die hydraulischen Durchlässigkeiten in Zonen eingeteilt.

Innerhalb einer Zone kann entweder ein einzelner K-Wert oder Speicherkoeffizient (Anzahl Parameterwerte innerhalb der Zone = 1) oder ein Feld von K-Werten oder Speicherkoeffizienten (Anzahl Parameterwerte innerhalb der Zone > 1) kalibriert werden.

Für die Kalibrierung von Leakagekoeffizienten müssen die Oberflächengewässer als LERA vorliegen. Ein Fluss oder Bach kann in mehrere Abschnitte unterteilt werden, diese Abschnitte müssen bei LERA und Z-LR gleich sein. Innerhalb eines Abschnittes kann nur ein Wert angegeben und optimiert werden.

Aufbau der Parameterdatei

Die Parameterdatei muss im *.csv-Format vorliegen. Die Spalten werden mit Semikolon (Strichpunkt) getrennt, als Dezimalzeichen ist der Punkt vorgegeben. Der Aufbau der Datei sieht wie folgt aus:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	KWER	10	1102	6.26E-02	3.00E-01	7.00E-03	1.00E-20	1.00E+01	0	KWER1102
2	KWER	10	1429	1.00E-01	3.00E-01	8.70E-03	1.00E-20	1.00E+01	0	KWER1429
3	KWER	10	1432	7.46E-04	3.00E-01	3.00E-03	1.00E-20	1.00E+01	0	KWER1432
4	KWER	5	1995	1.02E-03	3.00E-01	1.02E-03	1.00E-20	1.00E+01	1	KWER1995
5	KWER	5	2789	1.10E-03	3.00E-01	1.10E-03	1.00E-20	1.00E+01	1	KWER2789
6	KWER	5	3650	5.09E-03	5.00E-01	5.09E-03	1.00E-20	1.00E+01	1	KWER3650
7	KWER	5	3689	8.60E-04	3.00E-01	8.60E-04	1.00E-20	1.00E+01	1	KWER3689
8	LERA	0	1	2.89E-05	5.00E-01	4.32E-05	1.00E-20	1.00E+01	0	LERA1
9	LERA	0	2	5.90E-06	5.00E-01	1.10E-05	1.00E-20	1.00E+01	0	LERA2
10	LERA	0	3	6.82E-05	5.00E-01	1.50E-04	1.00E-20	1.00E+01	0	LERA3
11	LERA	0	4	2.74E-05	5.00E-01	3.97E-05	1.00E-20	1.00E+01	0	LERA4
12	LERA	0	5	6.34E-05	5.00E-01	6.29E-05	1.00E-20	1.00E+01	0	LERA5
13	LERA	0	6	6.38E-06	5.00E-01	1.04E-05	1.00E-20	1.00E+01	0	LERA6

Abb. 194: Beispiel einer Parameterdatei

- In Spalte A wird die Art des Parameters definiert. Im Moment sind folgende Arten von Parametern in der inversen Modellierung implementiert: KWER, KSPE, LERA, FLAE.

  Für die bereichsweise Kalibrierung von KWER und KSPE können in der Modelldatei Zonen definiert werden (Z-KW, Z-SP). Günstigenfalls sollten diese mit den geologischen Formationen übereinstimmen, innerhalb derer einheitliche Parameter zu erwarten sind. Ist nur eine Formation vorhanden, wird eine einzige Zone definiert.
- In Spalte B werden die Zonen der Z-KW und Z-SP eingetragen. Für den Parameter LERA steht in Spalte B immer 0. Die Zuordnung mit Z-LR wird in Spalte C vorgenommen.
- In Spalte C wird die Elementnummer des Stützpunktes definiert.
- Spalte D ist der Startwert für den jeweiligen Parameter. Im ersten inversen Berechnungslauf wird dieser Wert eingelesen.
- Spalte E beinhaltet die Standardabweichung. Diese entspricht etwa dem erwarteten Fehler der Größe. Bei Potentialmessungen können dies 5-10 cm sein, bei Mengen sind 10% gute Werte. Bei logarithmischen Größen wie KWER wird die Standardabweichung in Größenordnungen angegeben (Beispiel: K-Wert = 1e-03 +/- 0.5 Größenordnungen).
- Spalte F beinhaltet den Schätzwert des Parameters für die Residuenbildung
- Spalte G/H beinhaltet die untere und obere Grenze des Schätzwertes aus Spalte F.
- Spalte I: 0 für variabel / 1 für fix (dabei darauf achten, dass der gewünschte Wert in Spalte D definiert ist!) → Die Auswirkung ist in der folgenden Abbildung dargestellt.
- Spalte J beinhaltet den Name des Parameters, der in der Ausgabedatei erscheint.

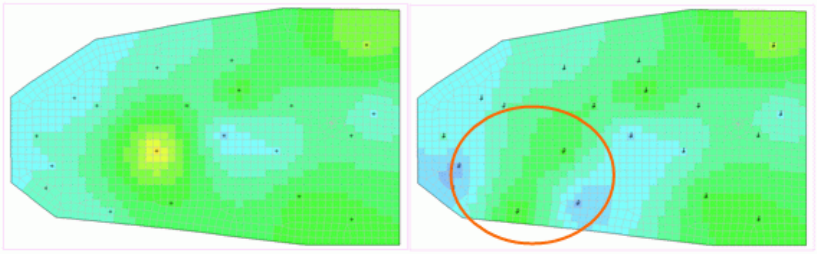


Abb. 195: Links: Stützstellen und Ausgangs-K-Werte. Rechts: Eingekreist ist das Gebiet der variablen K-Werte (Spalte I=0). Die K-Werte an den übrigen Stützstellen werden festgehalten (Spalte I=1), müssen aber trotzdem in der Parameterdatei verbleiben, damit die Interpolierung durchgeführt werden kann.

Aufbau der Beobachtungsdatei

Die vorhandenen Messwerte werden in einer Datei ohne spezielles Format gesichert (z.B. Textdatei). Der Aufbau der Datei für stationäre und instationäre Messwerte ist wie folgt:

```
Zeile 1-3 Kommentarzeile
Zeile 4 leer
Zeile 5 ZEITEINHEIT MENG SEKUNDE (MINU STUN TAG_ JAHR)
Zeile 6 ZEITEINHEIT ZEIT SEKUNDE (MINU STUN TAG_ JAHR) ODER
Zeile 6 BEZUGSDATUM XX.YY.ZZZZ
Zeile 7 leer
Zeile 8-x Messwerte:

POTE  Name_1  // Kommentar (Achtung: Keine Leerzeichen im Namen!)
x-Koordinate y-Koordinate [z-Koordinate in 3D]
Zeitpunkt Messung Standartabweichung ODER
DATUM     Messung Standartabweichung

KNOT Name_2
Anzahl Knoten n
n Knotennummern (pro Zeile 10)
Zeitpunkt Messung (Summe über alle n Knoten) St.abweichung ODER
DATUM     Messung (Summe über alle n Knoten) St.abweichung

LKN0 Name_3
Anzahl Knoten n
n Knotennummern (pro Zeile 10)
Zeitpunkt Messung (Summe über alle n Knoten) -St.abweichung ODER
DATUM     Messung (Summe über alle n Knoten) -St.abweichung
```

In Zeile 5 und 6 werden die Zeiteinheiten für die Menge und die Zeiteinheit für die Zeitskala festgelegt. Für stationäre Messwerte wird die Zeiteinheit als ZEIT vorgegeben mit dem Zeitpunkt 0.0 in der Datei. Bei instationären Messwerten kann ausgewählt werden, ob mit einer absoluten Zeitskala in einer Zeiteinheit (Beispiel Stunde: 0.0, 1.0, 1.5, 2., 20.) oder mit einem Bezugsdatum und damit mit einer Datumszeitskala gearbeitet werden soll.

Ab Zeile 8 folgen die Messwerte. Es sind 3 Kategorien möglich: POTE für Potentialmessungen, KNOT für punktförmige Entnahme/Infiltrationsmengen und LEKN für gemessene Infiltrations-/Exfiltrationsmengen über einen Bachabschnitt. Dem Steuerwort für die Kategorie folgt der Name der Messstelle. Dabei muss darauf geachtet werden, dass sich keine Leerzeichen im Namen befinden. Zwischen der x- und y-Koordinate sollte kein Tabulator verwendet werden.

Nach dem Zeitpunkt folgen der Messwert der Größe und die Standardabweichung dieses Messwertes. Die Standardabweichung wird zur Gewichtung des Messwertes benötigt. Im Kapitel „Minimierung der Zielfunktion“ auf Seite 270 wird näher auf diese Größe und ihre Funktion eingegangen.

Zur Veranschaulichung folgen nun Beispiele einer stationären und instationären Beobachtungsdatei:

```
Messwerte stationäre Kalibrierung
Datenquelle: xy.csv
Region

ZEITEINHEIT MENG SEKUNDE
ZEITEINHEIT ZEIT SEKUNDE

POTE 1-GW-                //
 12407.135  20571.265
0.0  469.43  0.10     // Datum: 10/06/04

KNOT
3
28 29 30
0.0 -0.050 0.005

LKNO 62
24
317 318 319 320 321 322 324 323 325 326
327 328 329 330 331 332 333 209 210 211
212 213 214 216
 0.000 -0.037 -0.1

```

Abb. 196: Beobachtungsdaten für die stationäre Kalibrierung

```
Wasseramt
instationaere Kalibrierung
Jahr 2002

ZEITEINHEIT MENG SEKUNDE
BEZUGSDATUM 31.12.2001

POTE  407
  11260.00    22405.00
01.01.2002    462.21      0.50
02.01.2002     462.2      0.50
03.01.2002    462.18      0.50
04.01.2002    462.17      0.05
05.01.2002    462.16      0.05
.
.
.
27.12.2002    462.51      0.05
28.12.2002     462.5      0.05
29.12.2002    462.49      0.05
30.12.2002    462.49      0.05
31.12.2002    462.48      0.05

POTE  410
  11483.00    22617.00
01.01.2002    461.13      0.50
02.01.2002    461.12      0.50
03.01.2002    461.11      0.50
04.01.2002     461.1      0.50
05.01.2002     461.1      0.05
.
.
.
27.12.2002    461.25      0.05
28.12.2002    461.25      0.05
29.12.2002    461.25      0.05
30.12.2002    461.25      0.05
31.12.2002    461.25      0.05

```

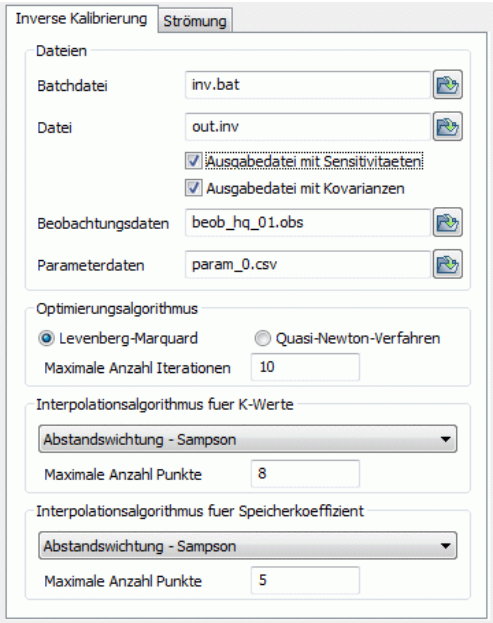
Abb. 197: Beobachtungsdaten für die instationäre Kalibrierung

6.4.5.1 Eingabeparameter

Nach Auswahl im Menü *Berechnung → Inverse Kalibrierung* und Auswahl der Berechnungsart

erscheinen die jeweiligen Eingabefenster des gewählten Berechnungsmoduls sowie die Notebookseite mit den erweiterten Einstellungen für die inverse Modellierung. Die erforderlichen Eingaben für die inverse Kalibrierung sind unabhängig von der gewählten Berechnungsart. Die folgende Abbildung zeigt die Notebookseite für die inverse Kalibrierung.

Beim Aufruf der Eingabemaske liest das Programm die Batch-Datei mit dem voreingestellten Namen sitra.bsi und inv.biv ein (sofern sie vorhanden sind). Die Standardeinstellungen in der Maske werden dementsprechend verändert.



Dateien

Ein inverser Modellierungslauf benötigt zwei Batch-Dateien: Die "normale" Batch-Datei mit den Steuerparametern für das direkte Problem (voreingestellt: *sitra.bsi*) und eine Batch-Datei mit den Steuerparametern für das inverse Problem (voreingestellt: *inv.biv*). Letztere wird hier definiert.

Ein inverser Modellierungslauf erzeugt zwei Ausgabedateien: Die erste Ausgabedatei enthält die Ergebnisse des letzten durchgeführten Rechenlaufs des direkten Problems (*out.s*). Die zweite Ausgabedatei wird in diesem Dialog festgelegt (voreingestellt: *out.inv*) und enthält das Protokoll des inversen Rechenlaufs mit Fehlertabellen für jeden Iterationsschritt und einer Ausgabe der optimierten Parameter. Werden die Checkboxen "Ausgabedatei mit ..." aktiviert, werden die Sensitivitäten (Dateien *param_name.sns, out.inv_tab.csv* und *out.inv.sens*) und die Kovarianzen (Datei *kovarianz.csv*) in zusätzliche Ausgabedateien geschrieben.

Die Sensitivitäten liefern eine Aussage darüber, wie eine Veränderung des i. ten Parameters p_i im aktuellen Parametersatz p auf das Berechnungsergebnis im j. ten Beobachtungsdatum b_j auswirkt.

Die Kovarianz ist eine Maßzahl für den (linearen) Zusammenhang zweier Zufallsvariablen mit gemeinsamer Verteilung. Die Kovarianz ist positiv, wenn a und b tendenziell einen gleichsinnigen linearen Zusammenhang besitzen, d. h. hohe Werte von a gehen mit hohen Werten von b einher und niedrige mit niedrigen. Die Kovarianz ist hingegen negativ, wenn a und b einen gegensinnigen linearen Zusammenhang aufweisen, d. h. hohe Werte der einen Zufallsvariablen gehen mit niedrigen Werten der anderen Zufallsvariablen einher. Ist das Ergebnis 0, so besteht kein linearer Zusammenhang zwischen den beiden Variablen a und b (nichtlineare Beziehungen sind möglich) (aus Wikipedia).

In der inversen Modellierung werden die Kovarianzen der Parametergrößen zueinander berechnet und in der Datei *kovarianz.csv* tabellarisch zusammengestellt.

Die Dateien mit den Beobachtungs- und Parameterdaten sind ebenfalls anzugeben.

Optimierungsalgorithmus

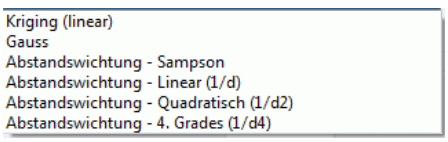
Als Optimierungsalgorithmen stehen das Gauß-Newton-Verfahren nach Levenberg-Marquard und ein Quasi-Newton-Verfahren zur Verfügung.

Im Textfeld wird die maximale Anzahl Iterationen eingegeben, nach welcher der Optimierungsalgorithmus unabhängig vom Konvergenzverhalten auf jeden Fall beendet werden soll.

Interpolationsverfahren

Hier werden die Parameter für eine eventuell notwendige Interpolation von K-Wert-Parametern oder Speicher-Parametern innerhalb der jeweiligen Zonen (Z-KW oder Z-SP) festgelegt.

Es stehen folgende Interpolationsalgorithmen zur Verfügung:



Bei der Abstandswichtung ist im Unterschied zum Berechnungsmodul *Interpolation* (S. **244**) keine Eingabe eines maximalen Suchradius für die Interpolationspunkte erforderlich. Es wird immer maximal die im Textfeld angegebene Anzahl an Punkten mit dem kleinsten Abstand für die Interpolation verwendet.

6.4.5.2 Ergebnisse

Es empfiehlt sich, zunächst einen Lauf mit 0 Iterationen durchzuführen. So kann ohne großen Aufwand die Zielfunktion kontrolliert werden. Die Ergebnisse werden in die Ausgabedatei (hier: *out.inv*) geschrieben, dabei werden die Anteile pro Parameter/Messwertgruppe einzeln aufgeführt.

Wichtig ist, die Anteile der Zielfunktion ausgeglichen zu gestalten. Nach dem ersten inversen Berechnungslauf (0 Iterationen) können die Anteile der Zielfunktion miteinander verglichen werden. Die am besten bekannten Größen (meist Potentiale) sollten dabei den größten Anteil an der Zielfunktion (ZF) haben.

Mögliche Fehlerquellen:

- K-Werte sind zu stark gewichtet. Damit ist es dem Algorithmus nicht erlaubt, den K-Wert weit vom Schätzwert zu berechnen, und es ergeben sich fast keine Änderungen in der Verteilung der Durchlässigkeiten.

  Abhilfe: Standardabweichungen vergrößern
- Mengen sind zu stark gewichtet. Somit verlieren die Messungen der Potentiale an Gewicht und der Algorithmus versucht (vergeblich!), die Mengen zur Übereinstimmung zu bringen. Meistens gilt die Regel: Stimmen die Potentiale und die K-Werte, sollten die Mengen sich auch einstellen.

  Abhilfe: Anteile der Zielfunktion ausgeglichen gewichten (mittels gut gewählter Standardabweichungen)
- Messreihen instationär: Im Piezometer x wird über ein Jahr jeden Tag gemessen, in Piezometer y hingegen nur 1x pro Monat. Wenn alle Einzelmessungen das gleiche σ haben (also gleich stark gewichtet werden), wird in der Summe die Grundwassermessstelle x rund 30 Mal stärker gewichtet als die Grundwassermessstelle y (365 Messungen gegenüber 12 Messungen).

  Abhilfe: σ für Piezometer y kleiner wählen.

Sind die Anteile an der Zielfunktion ausgeglichen, wird die Anzahl der Iterationen auf 10 gesetzt und die inverse Modellierung erneut gestartet.

Ausgabedateien

- out.inv

  Datei mit Verlauf der Kalibrierung (gemessene/berechnete Werte/Zielfunktion) sowie den K-Werten und Leakagefaktoren im Format der Modelldatei. Die iterierten K-Werte können über *Attribute → Modelldaten/Berechnungsergebnisse importieren…* direkt auf dem Attribut KWER abgelegt werden.
- Invpar.csv:

  Datei im Format der Parameterdatei (Achtung: Semikolon als Spaltentrenner, Punkt als Dezimaltrenner). In Spalte D sind die berechneten K-Werte aufgelistet. Diese Datei kann umbenannt werden und dann als Inputdatei für einen nächsten Lauf verwendet werden (z.B. mit teilweise festgehaltenen Werten)
- Invpar_xy.csv:

  Analog invpar.csv, nur sind Koordinaten vorhanden (nicht für LERA!). Die Datei kann zum Beispiel überlagert werden, um die Ergebnisse zu visualisieren
- resan_pote.csv, resan_lkno.csv, resan_knot.csv (nur stationär):

  Enthält alle Daten zu den Messwerten

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Name	X	Y	Z	Rechnung	Messung	Residuum	StdAbw	W-Res	ZF
2	1	257	1482	0	102.854	103	-0.146	1.00E-01	-1.46E+00	2.12E+00
3	2	1046	1075	0	102.751	103.2	-0.449	1.00E-01	-4.49E+00	2.02E+01
4	3	2228	884.12	0	102.09	102	0.09	1.00E-01	8.96E-01	8.03E-01
5	4	2850.67	1940.99	0	101.806	102	-0.194	1.00E-01	-1.94E+00	3.76E+00
6	5	4285.02	2694.89	0	100.858	101	-0.142	1.00E-01	-1.42E+00	2.02E+00
7	6	4856.81	482.17	0	100.251	99.8	0.451	1.00E-01	4.51E+00	2.04E+01
8	7	3843.76	1455.22	0	100.915	101.04	-0.125	1.00E-01	-1.25E+00	1.57E+00
9	8	1652.76	1000.22	0	102.378	103.04	-0.662	1.00E-01	-6.62E+00	4.38E+01
10	9	3768	81.7	0	101.296	101.49	-0.194	1.00E-01	-1.94E+00	3.75E+00
11	10	3632.74	1870	0	101.141	101	0.141	1.00E-01	1.41E+00	2.00E+00

Abb. 198: Beispiel der Datei resan_pote.csv

- name.csv (nur instationär):

  Für jeden Messpunkt (POTE, LKNO, KNOT) wird ein *.csv-Datei mit Gangliniendaten herausgeschrieben. Da hier nicht nach Datenarten unterschieden wird, ist es wichtig, die Namen in der Beobachtungsdatei

(*.obs) eindeutig zu definieren (nicht ein Potential namens X1 und eine Mengenmessung namens X1. Besser: h_x1 und q_x1)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Zeit	Rechnung	Messung	Residuum	StdAbw	W-Res	ZF			
2	1	446.613	446.59	2.31E-02	2.00E-01	1.15E-01	1.33E-02			
3	2	446.616	446.57	4.61E-02	2.00E-01	2.30E-01	5.30E-02			
4	3	446.617	446.55	6.68E-02	2.00E-01	3.34E-01	1.11E-01			
5	4	446.616	446.53	8.62E-02	2.00E-01	4.31E-01	1.86E-01			
6	5	446.614	446.51	1.04E-01	5.00E-02	2.08E+00	4.32E+00			
7	6	446.611	446.5	1.11E-01	5.00E-02	2.21E+00	4.89E+00			
8	7	446.607	446.49	1.17E-01	5.00E-02	2.34E+00	5.46E+00			
9	8	446.603	446.48	1.23E-01	5.00E-02	2.45E+00	6.02E+00			
10	9	446.598	446.46	1.38E-01	5.00E-02	2.76E+00	7.60E+00			
11	10	446.593	446.45	1.43E-01	5.00E-02	2.85E+00	8.14E+00			
12	11	446.588	446.44	1.48E-01	5.00E-02	2.95E+00	8.71E+00			
13	12	446.582	446.43	1.53E-01	5.00E-02	3.05E+00	9.30E+00			
14	13	446.577	446.43	1.48E-01	5.00E-02	2.95E+00	8.70E+00			
15	14	446.573	446.42	1.53E-01	5.00E-02	3.05E+00	9.31E+00			
16	15	446.568	446.41	1.58E-01	5.00E-02	3.16E+00	9.96E+00			

Abb. 199: Beispiel einer instationären Ausgabedatei name.csv

6.4.5.3 Batchdateien

Der Aufruf der inversen Kalibrierung kann auch direkt ohne die Eingabemaske über die Kommandozeile erfolgen, sofern geeignete Batch-Dateien *.bsi und *.biv im Verzeichnis vorhanden sind. Hierzu wird in das Verzeichnis gewechselt, in dem die Berechnung ausgeführt werden soll. Die Eingabe von *sitra* und dem Bestätigen mit der Enter-Taste führt dazu, dass eine inverse Kalibrierung gestartet wird. Der voreingestellte Batch-Datei-Name ist *sitra.bsi*. Diese Datei wird im Verzeichnis gesucht. Mit dem Aufruf *sitra Dateiname* kann aber auch eine andere Batch-Datei angegeben werden (die Erweiterung "*.bsi" wird bei Bedarf automatisch angehängt). Die Batch-Dateien können von Hand mit einem beliebigen Editor erstellt oder verändert werden.

Für die inverse Kalibrierung ist zunächst die Datei *sitra.bsi* erforderlich, in der die Batchdatei für den inversen Berechnungslauf (im Beispiel: *inv.biv*) angegeben wird.

- Beispiel für eine Batchdatei *sitra.bsi* (stationäre Berechnung):

```
out.s                 # Ausgabedatei
0                     # ausf. Protokoll (1-Ja,0-Nein)
1 0                   # Gleichungslöser P/U (1-iterativ,0-direkt)
0 0                   # Kontrolllinienber. (1-Ja,0-Nein), IMITTEL
0 0                   # Peclet/Courantzahlen, K-Werte aus EICHEN (1-Ja,0-Nein)
STROEMUNG+INVERS inv.biv  #  Batchdatei für inversen Input
1                     # Iter. der Mächtigkeit (1-Ja,0-Nein)
0 0 0                 # gleiche Konz., dichteabh. Rech., p oder h (1-Ja,0-Nein)
5  0.50000            # Anz. Iterationsschritte, Dämpfungsfak.
0 0                   # Strömung/Transport stat./0 inst/1 inst.+ gesp./unges./2
0 0                   # Start. Pote/Konz aus ASAT(3) null(2) EICH/AKON(1) =0(0)
```

Die Batchdatei inv.biv enthält die Parameter für die inverse Kalibrierung.

- Beispiel für eine Batchdatei *inv.biv* (inverse Berechnung), die aus der stationären Berechnung heraus aufgerufen wird:

```
out.inv               # Ausgabedatei für inversen Lauf
Messwerte.obs         # Datei mit Beobachtungsdaten
Parameter.csv         # Datei mit Parameterdaten
1                     # 0: Levenberg-Marquard / 1: Quasi-Newton
10                    # Anzahl Iterationen
KWER 1 1              # Interpolationsflags für KWER-Daten / Parameter d für Abstandswichtung
SPEI 1 1              # Interpolationsflags für KSPE-Daten / Parameter d für Abstandswichtung
Ausgabe = SENS;KOVAR
```

Dabei hat der Wert für den Interpolationsflag folgende Bedeutung:

```
0: Kriging
1: Gauß
10: Abstandswichtung - Sampson
```

```
11: Abstandswichtung 1/d
12: Abstandswichtung 1/d²
13: Abstandswichtung 1/d4
```

6.4.6 Generelle Vorgehensweise

Sollen Modellparameter über die inverse Modellierung abgeschätzt werden, sind generell folgende Vorgehensweisen zu empfehlen:

- Zunächst sollte mit einer relativ groben Zonierung der Daten begonnen werden, d.h., nur wenige globale Parametergrößen werden optimiert. Die Auswertung der inversen Modellierungsläufe mit einer groben Zonierung liefert in der Regel guten Aufschluss darüber, ob die generelle Zonierung sinnvoll ist. Ist dies der Fall, können detaillierte Einteilungen vorgenommen werden.
- Ist die “grobe“ inverse Modellierung abgeschlossen, können in Teilbereichen einzelne Parameter genauer bestimmt werden. Dabei ist es sinnvoll, die Bereiche mit ausreichend genauen Ergebnissen aus der inversen Optimierung herauszunehmen. Die optimierten Modelldaten werden in der Modelldatei vorgeschrieben und aus der Parameterdatei entfernt. Dadurch wird die Anzahl der zu optimierenden Parameter reduziert und der Rechenaufwand für einen inversen Lauf begrenzt.
- Oft gibt es Bereiche des Modells, in denen nur wenige Beobachtungsdaten vorliegen. Dann ist es in der Regel schwierig, mit Hilfe der inversen Modellierung sinnvolle Parameter zu finden. Selbst wenn im übrigen Modellgebiet gute Ergebnisse erzielt wurden, gibt es in diesen kritischen Bereichen oft “Ausreißer“ bei den optimierten Parametern. Im Wesentlichen gibt es zwei Möglichkeiten, die Parameter in solchen wenig aufgeschlossenen Bereichen in den Griff zu bekommen:
  1. Die Parameter werden ganz aus der inversen Modellierung herausgenommen und mit einem geschätzten plausiblen Wert fest in der Modelldatei vorgeschrieben.
  2. Es besteht aber auch die Möglichkeit, 'Dummy'-Beobachtungsdaten in diesen Bereichen festzuschreiben: Der Benutzer kann z.B. sinnvoll geschätzte zusätzliche Potentiale als Beobachtungsgrößen einführen. Diese sollten dann aber - im Gegensatz zu den tatsächlich gemessenen Potentialen - kleinere Wichtungsparameter erhalten, da sie in der Regel weniger glaubwürdig sind als gemessene Werte.
- Beim Übergang von einer groben Zonierung auf eine feinere Differenzierung der Parameter gibt es zwei unterschiedliche Vorgehensweisen:

  Eine Zone kann in mehrere kleinere Zonen unterteilen werden, oder

  die Anzahl der Parameter innerhalb der Zone kann erhöht werden.

Im Allgemeinen sind die Ergebnisse der Optimierung bei Verwendung von Zonen mit nur einem Parameter (→ konstante Parameter innerhalb der Zonen) leichter zu interpretieren. Werden Zonen mit mehreren Parametern verwendet, müssen die Ergebnisse der Optimierung auch im Hinblick auf den verwendeten Interpolationsalgorithmus ausgewertet werden. Die Optimierung ist dann zusätzlich anfällig gegenüber Schwächen im verwendeten Interpolationsalgorithmus. Dies sind z.B. Über- bzw. Unterschwingen bei Gauß und Kriging oder die Tendenz zu lokalen Extrema in den Interpolationspunkten bei Verwendung der Abstandswichtung.

Auswertung der Sensitivitäten

Die inverse Modellierung fordert vom Anwender ständig eine Überprüfung der Modellvorstellung. Eine Auswertung der Sensitivitäten am Ende jedes inversen Modellierungslaufs liefert hierzu viele wichtige Informationen:

- Modellbereiche, in denen zu wenige Informationen vorliegen, können erkannt werden:

  Wenn alle Parameter in einem Modellbereich nur kleine Sensitivitäten aufzeigen, sollte dieser Bereich entweder mit zusätzlichen Beobachtungsdaten versehen oder aus der Kalibrierung herausgenommen werden.
- kritische und unkritische Parameter:

  Beim Vergleich der Sensitivitäten ergibt sich, welcher der Parameter den größten Einfluss auf den Fehler in einem bestimmten Beobachtungspunkt hat.
- Falsche Modellannahmen:

  Divergiert der Iterationslauf oder findet nur eine minimale Fehlerreduzierung statt, ist eine generelle Überprüfung der Modellannahmen (z.B. der Aufteilung der Zonen) erforderlich.

6.4.7 Einschränkungen für die inverse Modellierung

Für die Berechnung des direkten Problems müssen während der inversen Modellierung Steuerparameter definiert werden. Dabei sind einige Einschränkungen zu beachten:

- Generell kann ein gekoppeltes Strömungs- und Transportmodell berechnet werden. Dispersivitäten und andere nur für den Transport notwendigen Modelldaten können zurzeit noch nicht optimiert und gemessene Konzentrationen nicht als Beobachtungsdaten aufgenommen werden. Daher ist die Transportberechnung bei einer inversen Modellierung derzeit nicht vorgesehen. Eine Ausnahme bildet die Optimierung von Strömungsparametern für ein dichteabhängiges Modell. In diesem Fall muss das Transportproblem mit berechnet werden.
- Generell ist es bei einer instationären Berechnung möglich, zur Reduzierung des benötigten Speicherplatzes die berechneten Potentiale nur für bestimmte Zeitschritte oder Ganglinien einzelner Knoten abzuspeichern. Bei der inversen Modellierung werden jedoch die Potentiale für jeden Zeitschritt der instationären Rechnung benötigt. Daher müssen bei einem instationären inversen Modellierungslauf die Potentiale für alle Zeitschritte zwischengespeichert werden.
- Ein “Warmstart“, d.h. die Fortsetzung einer instationären Rechnung (S. **290**), mit der null-Datei ist bei einem inversen Modellierungslauf nicht möglich. Damit ist auch das Abspeichern der Daten der instationären Rechnung für ein Fortsetzen der Iteration (*out66*-Datei) nicht sinnvoll.
- Bei einem instationären dreidimensionalen oder vertikalen Strömungsmodell, das gesättigt/ungesättigt berechnet werden soll, können innerhalb eines Zeitschrittes die relativen K-Werte iterativ berechnet werden. Dies ist bei einer inversen Modellierung nicht möglich. Bei derartigen Problemstellungen muss mit einem Update der relativen K-Werte von einem Zeitschritt zum nächsten gearbeitet werden (d.h. nur mit einer Iteration pro Zeitschritt und ohne Dämpfung der Iteration: Dämpfungsfaktor = 1.0).
- Als weitere Einschränkung gegenüber einer normalen Strömungsberechnung kann bei der inversen Modellierung nicht mit maximalen In-/Exfiltrationsmengen (MXKI, MXKE, MXEI, MXEE) gearbeitet werden. Um Leakagemengen trotzdem in einer bestimmten Größenordnung zu halten, können LKNO-Beobachtungsdaten verwendet werden.

6.5 Stationäre Strömung

Aufruf durch: *SPRING → Berechnung → Stationäre Strömung...*

Zur Berechnung der stationären Strömung stehen derzeit zwei Berechnungsmodule zur Verfügung. Es handelt sich um die Module GEONEU und SITRA. Das Modul GEONEU hat Leistungsmerkmale, die dem Modul SITRA fehlen:

- Die Berechnung eines Horizontalmodells mit 3D-Teilbereich
- zusätzlicher Potentialwert im Elementmittelpunkt bei der Stromlinienberechnung aufgrund einer Dreiecks- bzw. Viereckzerlegung der einzelner Elemente
- Bahnlinienberechnung

Die Erläuterungen der folgenden Kapitel beziehen sich jedoch allein auf die stationäre Strömungsberechnung mit dem Modul SITRA.

6.5.1 Theorie der stationären Strömung

Formulierung über das Potential

Im gesättigten Grundwasserleiter mit konstanter Dichte lässt sich die Differentialgleichung zur Berechnung eines stationären Strömungszustandes durch Kopplung des Gesetzes von Darcy:

$$\mathbf{v_f} = -\mathbf{K}\nabla\mathbf{h}$$

mit der Kontinuitätsbedingung

$$\nabla\mathbf{v_f} = \mathbf{q}$$

herleiten:

$$-\nabla(\mathbf{K}\nabla\mathbf{h}) = \mathbf{q}$$

Darin bedeuten:

h = Potential [m],

v_f = Filtergeschwindigkeit [m/s],

K = symmetrischer Tensor für den K_f-Wert [m/s],

q = Quellen/Senkenterm [1/s].

Für die Strömung in einem homogenen, isotropen Medium kann der K-Wert als skalare Größe angesehen werden. Bei anisotropem Aquifer muss die Tensor-Eigenschaft des K-Wertes berücksichtigt werden, da die Durchlässigkeiten an einem Ort in verschiedenen Richtungen unterschiedlich groß sind.

Neben der mathematischen Formulierung der stationären Strömungsgleichung über das Potential h kann auch der Druck p oder die Druckhöhe ψ als Primärvariable verwendet werden. Dies ist insbesondere dann erforderlich, wenn dichteabhängige Strömungsverhältnisse betrachtet werden oder eine gesättigt/ungesättigte Berechnung durchgeführt werden soll. Die Größen „Sättigung“ und „relativer K-Wert“ bei gesättigt/ungesättigten Verhältnissen sind in der Literatur ebenfalls als vom Druck bzw. von der Druckhöhe abhängige Variable formuliert.

6.5.1.1 Formulierung über die Druckgleichung

Das Gesetz von Hubbert liefert die Beziehung zwischen hydrostatischem Druck p und Potential h:

$$\mathbf{h} = \mathbf{z} + \frac{\mathbf{p}}{\rho\mathbf{g}}$$

mit:

h = Potential [m]

z = Lagehöhe [m]

p = Druck [N/m²] = [kg/(s²m)]

ρ = Dichte [kg/m³]

g = Erdbeschleunigung [m/s²]

Ein vom durchströmenden Medium unabhängiger Kennwert für die Durchlässigkeit K ist die Permeabilität K_{perm}. Der Zusammenhang zwischen der Permeabilität K_{perm} eines porösen Mediums und der Durchlässigkeit K dieses porösen Mediums in Bezug auf ein strömendes Fluid lautet:

$$\mathbf{K} = \mathbf{K_{perm}} * \frac{\rho \mathbf{g}}{\eta}$$

Mit:

K = symmetrischer Tensor für den K_f-Wert [m/s]

K_{perm} = Permeabilität [m²]

ρ = Dichte [kg/m³]

g = Erdbeschleunigung [m/s²]

η = dynamische Viskosität [kg/(ms)]

Setzt man diese beiden Gleichungen in die vom Potential abhängige stationäre Strömungsgleichung ein, erhält man die stationäre Strömungsgleichung in Abhängigkeit des Drucks:

$$-\nabla(\mathbf{K}\nabla h) = \mathbf{q} = -\nabla\left(\frac{\mathbf{K_{perm}}}{\eta}(\rho \mathbf{g}\nabla \mathbf{z} + \nabla \mathbf{p})\right)$$

Die Einheit der Gleichung entspricht der des Quellterms q = [1/s].

Da auch ungesättigte Verhältnisse berücksichtigt werden sollen, muss der K_f-Wert K mit einem relativen k-Wert kr_{el} ($0<k_{rel}<1$) skaliert werden.

$$-\nabla(\mathbf{K}\nabla h) = \mathbf{q} = -\nabla\left(\frac{\mathbf{K_{perm}} * \mathbf{k_{rel}}}{\eta}(\rho \mathbf{g}\nabla \mathbf{z} + \nabla \mathbf{p})\right)$$

Der Faktor k_{rel} [-] wird als eine Funktion der Sättigung definiert: $k_{rel} = k_{rel}(S_r)$. Im gesättigten Bereich ist k_{rel} = 1.0.

Die relative Sättigung ist eine vom Druck abhängige Variable $S_r = S_r(p)$, die üblicherweise über eine Funktion nach van Genuchten definiert wird.

6.5.1.2 Druck-Sättigungsfunktion nach van Genuchten

Der nichtlineare Zusammenhang zwischen Kapillardruck und Sättigung wird im Wesentlichen durch die Beschaffenheit des Bodens (Kornform und Korngrößenverteilung) bestimmt. Die folgende Abbildung zeigt schematisch die Druck-Sättigungsbeziehung im Boden:

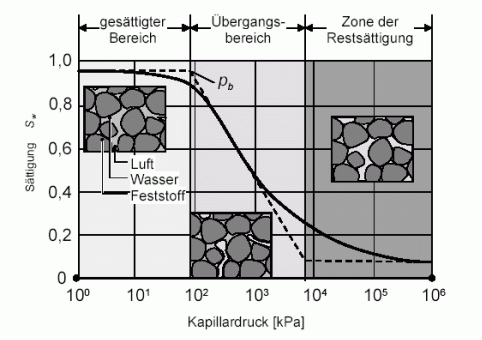


Abb. 200: Kapillardruck-Sättigungsbeziehung (p_b entspricht dem Wassereintrittsdruck)

Van Genuchten stellte folgende Beziehung zwischen dem Anteil der ungesättigten an der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit auf:

$$k_{rel}(S_e) = (S_e)^l \left[1 - (1 - (S_e)^{\frac{1}{m}})^m \right]^2$$

Hierin bedeuten:

S_e = effektive Sättigung

l = unbekannter Parameter für den van Genuchten den Wert 0,5 ermittelt hat

m = 1-1/n = Konstante, n = Porengrößenindex (> 1)

Nach van Genuchten [VAN GENUCHTEN, M. TH. (1980) A Closed-Form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils, Soil Science Society of America Journal. 44: Pages 892-898. 1980] werden für n Werte von 1,5 (tonig) bis 4,5 (sandig) verwendet.

Die effektive Sättigung definiert sich über folgende Formel:

$$S_e = \frac{S_r(p) - S_{res}}{S_s - S_{res}}$$

Die Parameter bedeuten:

S_r = relative Sättigung $S_r(p)$

S_{res} = Restsättigung = Sättigungsgrad, der je nach Bodentyp infolge von Fließvorgängen nicht unterschritten wird

S_s = maximale Sättigung = Sättigungsgrad, der je nach Bodentyp maximal erreichbar ist (S_s ~1.0)

Die effektive Sättigung steht mit dem Kapillardruck p_c und dem Wassereintrittsdruck p_e in folgender Beziehung:

$$S_e = \frac{S_r(p) - S_{res}}{S_s - S_{res}} = \left[1 + (\frac{p_c}{p_e})^n \right]^{\frac{1-n}{n}}$$

Löst man diese Gleichung nach der druckabhängigen relativen Sättigung $S_r(p)$ auf, erhält man die in SPRING zugrunde gelegte Druck-Sättigungsfunktion nach van Genuchten:

$$S_r(p_c) = S_{res} + (S_s - S_{res}) * \left[1 + (\frac{p_c}{p_e})^n \right]^{\frac{1-n}{n}}$$

Mit:

p_c = Kapillardruck [N/m²] = [kg/(s²m)]

p_e = Wassereintrittsdruck [N/m²] = [kg/(s²m)]

Der Wassereintrittsdruck ist ein bodenspezifischer Parameter. Er wird als Kehrwert a = $1/p_e$ in den Sättigungsparametern definiert. Die folgende Abbildung zeigt Beispiele für die Druck-Sättigungsfunktionen nach van Genuchten in Abhängigkeit verschiedener Böden:

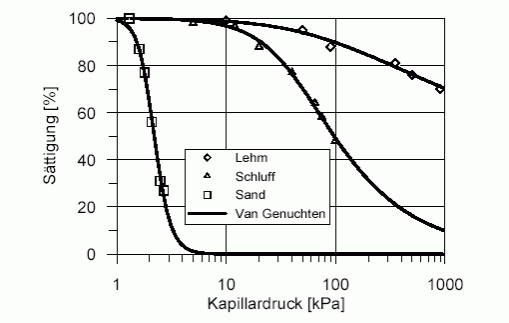


Abb. 201: Druck-Sättigungsfunktionen nach van Genuchten

6.5.2 Berechnung der freien Oberfläche (2D)

Die Ermittlung der freien Oberfläche bedeutet im Horizontalmodell eine Berechnung der unbekannten Mächtigkeit. Die Mächtigkeit (m) des ungespannten Grundwasserleiters muss so bestimmt werden, dass für die mit dieser Mächtigkeit berechneten Potentiale (h)

$$m = h - u$$

gilt, wobei u die Unterfläche des Grundwasserleiters bezeichnet. Die Berechnung erfolgt über eine Iteration der Mächtigkeit der einzelnen Elemente. Die Mächtigkeit des Grundwasserleiters wird so angepasst, dass für jedes Element gilt:

$$m_{i+1} = h_i - u.$$

mit: i = Iterationsschritt

Um Oszillationen bei der Iteration zu vermeiden, wird die Änderung der Mächtigkeit von einem Iterationsschritt zum nächsten mit einem Dämpfungsfaktor 0 < w < 1 versehen:

$$m_{i+1} = m_i + w * ((h_i - u) - m_i).$$

mit: i = Iterationsschritt

Bei w=1.0 wird die Iteration überhaupt nicht gedämpft, bei w=0. wird extrem gedämpft. Voreingestellt ist in der Regel ein Dämpfungsfaktor von 0.5. Als Ausgangszustand für die Iteration werden die in der Modellprüfung berechneten Startmächtigkeiten verwendet.

Die Iteration wird solange fortgesetzt, bis entweder die Unterschiede in den berechneten Potentialen zweier Schritte eine interne Schranke unterschreiten oder die vom Benutzer angegebene maximale Anzahl an Iterationsschritten erreicht wird.

Bei einem gespannten Grundwasserleiter ist die Grundwasseroberfläche in ihrer Ausdehnung nach oben gehindert. Dies wird während der Iteration dadurch berücksichtigt, dass die iterierte Mächtigkeit die in der Modellprüfung berechnete maximale (mögliche) Mächtigkeit nicht überschreiten darf.

Um eine Iteration der Mächtigkeiten in einem 2D-Modell durchführen zu können, ist immer die Angabe der Unterflächen (Attribut UNTE) des Grundwasserleiters erforderlich!

Beispiel:

Soll ein Kalibrierzustand nachgerechnet werden, sind in der Netzdatei in der Regel die Eichpotentiale (Attribut EICH) und die Unterflächen (Attribut UNTE) angegeben, aus denen die Mächtigkeiten berechnet werden. Diese entsprechen aber weitestgehend bereits den während der Modellprüfung berechneten Startmächtigkeiten. Die Iteration sollte in diesem Fall schon mit einem Dämpfungsfaktor von w=1.0 sehr schnell konvergieren.

Bei weiteren Berechnungen soll im Allgemeinen nicht der Kalibrierzustand, sondern eine beliebige andere Grundwassersituation berechnet werden (z.B. veränderte Entnahmemengen). In einem Bereich mit veränderten Entnahmemengen wird sich die Mächtigkeit gegenüber der Startmächtigkeit verändern. Bei großen Änderungen gegenüber dem Kalibrierzustand ist es sinnvoll, die Iteration der Mächtigkeit zu dämpfen, um Oszillationen zu vermeiden.

Besonderheit des Moduls SITRA:

Im Modul SITRA werden die Mächtigkeiten als Knotenwerte gespeichert. Daher müssen die aus der Modellprüfung kommenden Startmächtigkeiten und maximalen Mächtigkeiten auf Knotenwerte gemittelt werden, was eventuell zu Genauigkeitsverlusten führen kann.

6.5.3 Berechnung der freien Oberfläche (Vertikal- oder 3D-Modell)

Bei Vertikal- oder 3D-Modellen kann eine teilgesättigte Berechnung durchgeführt werden.

Diese wird bei SITRA anhand der Druck-Sättigungs-Funktionen bzw. die Funktion über den relativen K-Wert nach van Genuchten durchgeführt.

In SITRA sind drei Parametersätze für die Größen Restsättigung (S_{res}), Kehrwert des Wassereintrittsdrucks (a), Porengrößenindex (n) und spezifischer Parameter der relativen K-Wert-Funktion (l) voreingestellt, die durch die Größenordnung des im Modell vorhandenen K-Werts automatisch den entsprechenden Bodentypen

und van Genuchten-Parametern zugeordnet werden. Die genaue Zuordnung ist der Tabelle in der Beschreibung der Modelldaten (Sättigungsparameter, S. **53**) zu entnehmen.

6.5.3.1 Berechnung mit van Genuchten-Funktionen

Bei dieser Vorgehensweise werden die ungesättigten Bereiche des Grundwasserleiters vollständig in die FE-Berechnung einbezogen. Die Strömungsgleichung wird in ihrer Form als Druckgleichung berücksichtigt. Für jeden Netzknoten wird aus dem aktuellen Druck p ein Sättigungsgrad $S_r = S_r(p)$ berechnet. Für jedes Element wird dann aus den Sättigungswerten aller Eckknoten ein relativer K-Wert $k_r = k_r(S_r)$ berechnet:

$$\text{Druck } p_i \rightarrow \text{Sättigung } S_{r,\,i+1} \text{ und relativer K-Wert } k_{r,\,i+1}$$

mit: i = Iterationsschritt

Um Oszillationen bei der Iteration zu vermeiden, wird die Änderung der relativen K-Werte von einem Iterationsschritt zum nächsten mit einem Dämpfungsfaktor 0< w < 1 versehen:

$$k_{r,\,i+1} = k_{r,\,i} + w * (k_{r,\,i+1} - k_{r,\,i})$$

mit: i = Iterationsschritt

Bei w=1.0 wird die Iteration überhaupt nicht gedämpft, bei w=0. wird extrem gedämpft. Voreingestellt ist in der Regel ein Dämpfungsfaktor von w=0.5. Als Ausgangszustand für die Iteration werden wahlweise aus Eichpotentialen oder aus den Potentialen der null-Datei (S. **37**) oder speziell über das Attribut ASAT (Anfangssättigung) berechnete relative K-Werte verwendet, oder die relativen K-Werte werden auf den Startwert = 1.0 gesetzt.

Innerhalb eines Iterationsschrittes wird der relative k-Wert so lange angepasst, bis die Unterschiede in den berechneten Potentialen zweier Schritte die vom Anwender eingegebene Iterationsschranke unterschreiten.

.

Anmerkung:

Bei der Iteration der freien Oberfläche können bei ungünstigen Modellparametern numerische Probleme auftreten, die im ungünstigsten Fall dazu führen, dass die Iteration nicht konvergiert.

Die Hauptursachen hierfür sind hohe Neubildungsraten für ungesättigte Bereiche. Die Iterationsverfahren neigen dann zu Oszillationen:

Sind die Elemente 'offen' (k = 1 bzw. k_r = 1), sinkt die freie Oberfläche unter die Lagehöhe der Elemente. Damit werden die Elemente im nächsten Iterationsschritt ungesättigt, also 'dicht' gemacht (k → 0 bzw. k_r → 0). Aufgrund der hohen Zuflussmenge bildet sich ein 'Potentialgebirge' auf diesen dichten Elementen, und die Elemente sind im nächsten Iterationsschritt wieder gesättigt, also 'offen'.

Durch eine starke Dämpfung, die allerdings auch die Konvergenzgeschwindigkeit verlangsamt und damit eine größere Anzahl Iterationen erforderlich macht, können diese Oszillationen in vielen Fällen vermieden werden.

6.5.4 Eingabeparameter

Nach Auswahl im Menü *Berechnung → Stationäre Strömung* erscheint das folgende Eingabefenster:

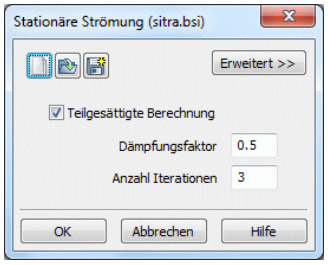


Abb. 202: Eingabe für die stationäre Strömungsberechnung (3D-Modell)

Voreingestellt ist die Berechnung mit dem Modul SITRA. Daher wird beim Aufruf der Eingabemaske die Batch-Datei mit dem voreingestellten Namen sitra.bsi eingelesen (sofern sie vorhanden ist), und die Standardeinstellungen in der Maske werden ggf. entsprechend verändert.

Die Umstellung auf eine Berechnung mit dem Modul GEONEU kann in den erweiterten Einstellungen erfolgen. Der voreingestellte Name für eine GEONEU Batch-Datei lautet geoneu.bge.

Iteration der Mächtigkeit (2D-Modell) / teilgesättigte Berechnung (3D-Modell)

Zuerst wird entschieden, ob eine Iteration der Mächtigkeit (im Horizontalmodell) bzw. eine teilgesättigte Berechnung zur Iteration der freien Oberfläche (im 3D-Modell) durchgeführt wird. Wenn ja, wird die gewünschte Anzahl der Iterationsschritte festgelegt.

Dämpfungsfaktor

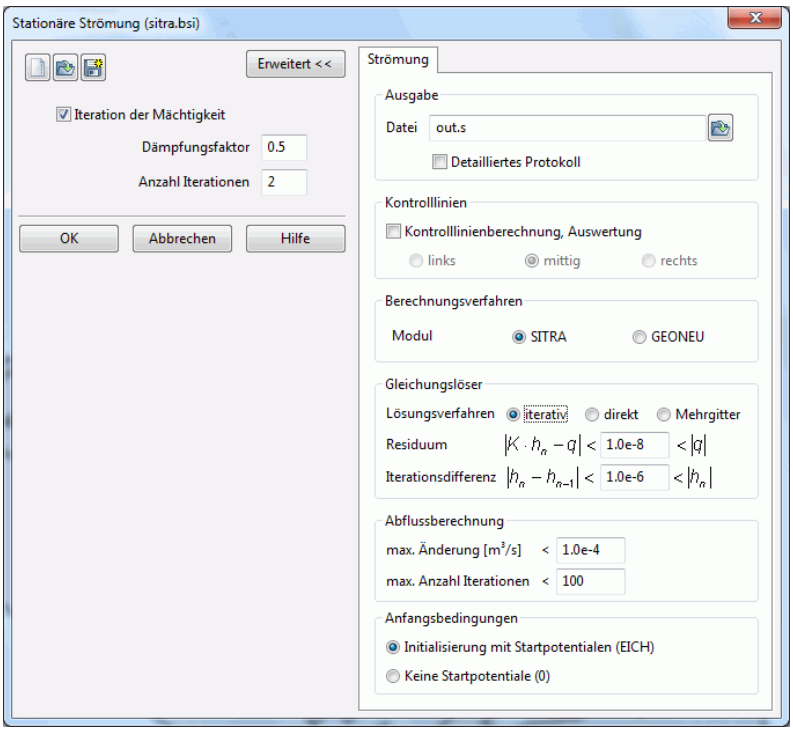
Um Oszillationen bei der Iteration zu vermeiden, wird die Änderung der Mächtigkeit von einem Iterationsschritt zum nächsten mit einem Dämpfungsfaktor 0 < w < 1 versehen (s.o.).

Die Buttons im Kopf des Eingabefensters ermöglichen das Zurücksetzen der Eingabeparameter ( ), das Öffnen einer vorhandenen Batch-Datei ( ), oder das Speichern der aktuellen Batch-Datei unter einem anderen Namen ( ). Die Buttons am unteren Rand des Eingabefensters starten die Berechnung (*OK-Button*), schließen den Dialog (*Abbrechen*) oder öffnen die digitale Hilfe (*Hilfe-Button*).

Die Auswahl „Erweitert“ führt zu zusätzlichen Einstellungen.

6.5.5 Erweiterte Einstellungen im Modul SITRA

Durch Aktivieren der Schaltfläche „Erweitert“ lassen sich weitere Parameter festlegen. Zunächst werden die Eingaben des Moduls SITRA beschrieben:



Ausgabe

Hier wird der Name der Ausgabedatei festgelegt. Voreingestellt ist der Name *out.s* im Modul SITRA bzw. *out.g* im Modul GEONEU.

Bei einem detaillierten Protokoll (nur SITRA) werden neben den Zwischenzeitpunkten einer instationären Rechnung auch die Massenbilanzen (knotenweise) und eventuell berechnete Kontrolllinienmengen (knotenweise), berechnete Potentiale, Konzentrationen bzw. Temperaturen, Sättigungen (bei gesättigt/ungesättigter Rechnung) und Geschwindigkeiten protokolliert.

Kontrolllinien

(nur wenn Attribut KONT, S. 67 in der Modelldatei vorhanden ist)

Nach Aktivieren des Kontrollkästchens wird die Berechnung der Kontrolllinien durchgeführt. Die Auswertung erfolgt wahlweise über die Geschwindigkeit des linken oder rechten anliegenden Elements oder durch Mittelung der beiden Geschwindigkeiten.

Berechnungsverfahren

Es stehen die zwei Berechnungsmodule SITRA und GEONEU zur Verfügung. Voreingestellt ist eine Berechnung mit dem Modul SITRA.

Gleichungslöser

Als Gleichungslöser kann entweder der iterative PCG-Löser, der direkte Cholesky-Gleichungslöser (LU-Zerlegung) oder ein algebraischer Mehrgitter-Gleichungslöser gewählt werden. Wegen seiner Rechenzeit- und Speicherplatzvorteile empfiehlt sich ab ca. 500 Knoten der iterative Gleichungslöser. Im Gegensatz zum direkten Verfahren wird die Lösung zwar nicht exakt berechnet, aber der Fehler ist in der Regel vernachlässigbar gering. Eine Genauigkeitsprüfung kann anhand der in der Ausgabedatei angegebenen Massenbilanz erfolgen. Der Mehrgitter-Gleichungslöser empfiehlt sich vor allem bei Modellen mit großen lokalen Unterschieden in den Durchlässigkeiten.

- iterativer PCG-Löser: Allgemeines CG-Verfahren mit Vorkonditionierung (Preconditioned Conjugate Gradient Solver) mit Block-SSOR-Relaxation (Symmetric Successive Over Relaxation Method)
- direkter Gleichungslöser: Gauß-Eliminationsverfahren
- Mehrgitter-Gleichungslöser: CG-Verfahren mit Vorkonditionierung durch Mehrgitterverfahren

Residuum und Iterationsdifferenz (nur bei iterativem oder Mehrgitter-Gleichungslöser)

Die Grundlage der iterativen Lösungsverfahren bildet das als Variationsproblem definierte Randwertproblem, aus dem sich durch Diskretisierung eine quadratische Funktion F(v) ergibt, deren Minimum die gesuchte Lösung liefert. Durch partielle Differentiation von F entsteht als notwendige Bedingung für diese Minimierung das bekannte symmetrische und positiv definite Gleichungssystem

$$\mathbf{K\,h^* = q}$$

Mit:

K = Durchlässigkeit

h* = Lösungsvektor der Potentiale

q = Vektor der Quellen/Senken

Mit **h*** sei im Folgenden der exakte Lösungsvektor bezeichnet, der nun mittels eines iterativen Verfahrens ermittelt werden soll. Mit **h** als so genanntem Versuchsvektor kann die quadratische Funktion wie folgt geschrieben werden:

$$\mathbf{F(h) = \frac{1}{2} h^T K h - q^T h}$$

Mit:

h^T = transformierter Versuchsvektor der Potentiale

K = Durchlässigkeitsmatrix

h = Versuchsvektor der Potentiale

q^T = transformierter Vektor der Quellen/Senken

bzw. in Indexschreibweise:

$$\mathbf{F(h) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} k_{ij} h_i h_j - \sum_{i=1}^{n} q_i h_j}$$

Die partielle Differentiation nach $\mathbf{h_i}$ liefert:

$$\mathbf{\frac{\delta F}{\delta h_i} = \sum_{j=1}^{n} k_{ij} h_j - q_i}$$

Darin ist $\mathbf{\delta F / \delta h_i}$ die i-te Komponente des Gradienten oder auch Residuenvektors **g** für den Versuchsvektor **h,**

$$g = \frac{\delta F}{\delta h_i} = Kh - q \longrightarrow 0$$

der nun innerhalb des iterativen Prozesses gegen den Wert Null (bzw. hier entsprechend der Eingabe für das Residuum zu 1.0e-08) geführt wird.

Der Iterationsprozess, der den Residuenvektor **g** gegen Null gehen lässt, beinhaltet eine systematische Korrektur einer Folge von Näherungsvektoren **h** in der folgenden Form:

$$h_{i+1} = h_i + \eta_i d_i \quad , (i = 0, 1, 2, \ldots)$$

Darin wird der Versuchsvektor h_i des i-ten Iterationsschritts mittels des Iterationsvektors d_i und einer skalaren Schrittweite η_i zum neuen Näherungsvektor h_{i+1} verbessert. Der Vektor d_i gibt dabei die Richtung der zum Minimum der Funktion weisenden Relaxation wieder.

Der Iterationsprozess wird abgebrochen, sobald eine zuvor gesetzte Konvergenzschranke/Iterationsdifferenz ε erreicht oder überschritten wird, so dass die zu erzielende Genauigkeit des Ergebnisses durch die Wahl dieses Konvergenzmaßes/Iterationsdifferenz ε bestimmt wird.

Die verschiedenen, an der Ermittlung der Abbruchschranke beteiligten Vektoren werden dabei nachfolgend stets durch Bildung ihrer euklidischen Norm in Beziehung zueinander gesetzt. Dadurch ergibt sich das folgende Abbruchkriterium:

$$\left| h_n - h_{n-1} \right| < \varepsilon$$

Abflussberechnung

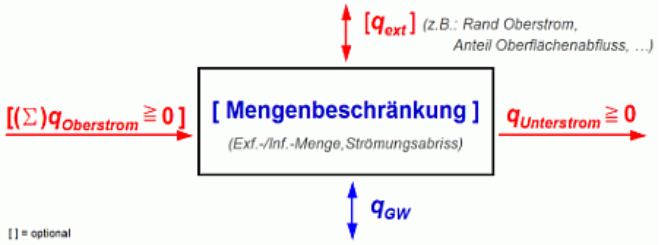
Die Eingaben zur Abflussberechnung werden im Kapitel „Eingaben bei Gewässersystem-Berechnungen“ auf S. 287 ausführlich beschrieben.

Anfangsbedingungen

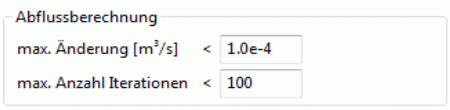
Bei Wahl des Moduls SITRA können zusätzlich die Anfangsbedingungen für die stationäre Strömung festgelegt werden. Es besteht die Möglichkeit, die Startpotentiale aus den Eichpotentialen oder aus der Null-Datei zu übernehmen, oder die Startpotentiale können = 0 gesetzt werden.

6.5.5.1 Eingaben bei Gewässersystem-Berechnungen

Durch die Nutzung der Gewässervernetzung in SPRING wird sichergestellt, dass die oberstromigen Grundwassermengen in der Austauschbilanz unterstromig berücksichtigt werden. Somit ist gewährleistet, dass beim Trockenfallen von Gewässerabschnitten nur so viel Wasser aus dem Gewässer versickern kann, wie es die oberstromig vorhandene Menge, z.B. saisonal bedingt, erlaubt:



Sind Attribute zur Gewässersystem-Berechnung in der Modelldatei vorhanden (Attribute VINZ, VGRD, VSYS), erscheint bei der Wahl des Moduls SITRA ein zusätzlicher Eingabebereich für die Gewässersystem-Berechnung:



Maximale Änderung [m³/s]

Bei der Ermittlung des grundwasserbürtigen Abflusses an einem Knoten werden die Mengen berücksichtigt, die aus dem Oberlauf des Gewässers zu dem Knoten hin fließen. Diese Leakagemengen werden bei jeder Iteration vom Oberlauf bis zum betrachteten Knoten aufsummiert, um auszuwerten, wie viel Wasser bei entsprechendem Potential (< Gewässerspiegel) versickern kann. Diese Versickerung bewirkt wiederum eine

Änderung der Leakagemengen und somit eine Änderung des grundwasserbürtigen Abflusses. Diese Iteration wird durch die Angabe einer max. (Mengen-)Änderung beschränkt.

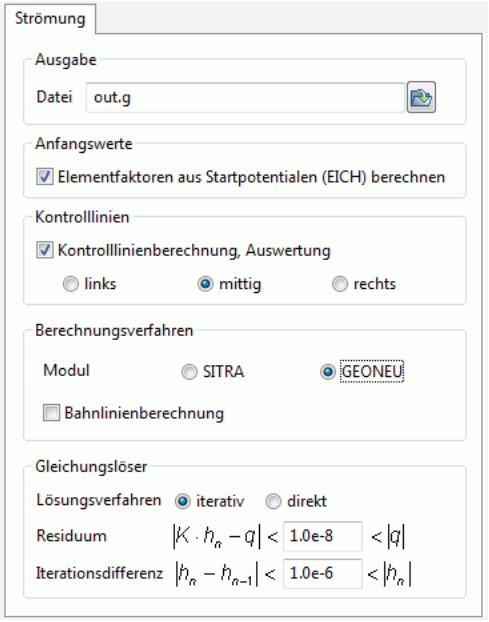
Maximale Anzahl Iterationen

Bei der Iteration der Leakagemengen kann es zu einer sehr hohen Anzahl an Berechnungsschritten kommen, bevor die max. (Mengen-)Änderung erreicht wird. Im Extremfall wird keine Konvergenz erreicht. Daher wird an dieser Stelle die Anzahl der Iterationen limitiert.

Sobald eine Beschränkung (max. (Mengen-)Änderung oder max. Anzahl Iterationen) erreicht ist, wird die Iteration des grundwasserbürtigen Abflusses abgebrochen.

6.5.6 Erweiterte Einstellungen im Modul GEONEU

Im Modul GEONEU sind zusätzliche Berechnungen und Eingaben möglich:



Anfangswerte

(nur im 3D-Modell, nur bei Wahl des Moduls GEONEU)

Hier wird bestimmt, welche Potential-Anfangswerte für die Berechnung der relativen K-Werte zugrunde gelegt werden.

Berechnungsverfahren

Bei einem Horizontalmodell mit dreidimensionalem Teilbereich sowie für die Bahnliniendarstellung muss das Modul GEONEU gewählt werden, weil das Modul SITRA diesen Modelltyp nicht berechnen bzw. diese Ergebnisse nicht liefern kann. Die Theorie der Bahnlinienberechnung ist im Kapitel "How To" auf S. 402 erläutert.

Gleichungslöser

Bei Wahl des Moduls GEONEU stehen lediglich das iterative Lösungsverfahren oder der direkte Gleichungslöser zur Verfügung. Die unterschiedlichen Gleichungslöser sowie die Abbruchkriterien wurden bereits im Kapitel "Erweiterte Einstellungen im Modul SITRA" (S. 285) beschrieben.

6.5.7 Ergebnisse der stationären Strömungsberechnung

Die FE-Berechnung liefert (z.T. nur auf Wunsch) folgende Ergebnisse:

- Potentiale an allen Knoten (primäre Ergebnisgröße)
- Abstandsgeschwindigkeiten für alle Elemente
- Das Geschwindigkeitsfeld wird in den Hintergrunddateien gespeichert und kann mit dem Programm STRING (S. 298) visualisiert werden.
- Flurabstände an allen Knoten, sofern in der Modelldatei Geländehöhen eingegeben wurden

- Reaktionswerte (Ein- bzw. Ausflussmengen) für alle Knoten mit vorgegebenem Potential
- Leakage-Mengen für Knoten und Elemente, sofern Leakagekoeffizienten (LERA, LEKN, LEEL) und Vorfluthöhen in den Modelldaten definiert wurden
- Massenbilanz der Gesamtmenge aller Zu- und Abflüsse. Diese werden in Relation zur Gesamtmenge der Reaktionsmengen gestellt. Die Summe aller eingegebenen und errechneten Mengen muss annähernd Null ergeben. Außerdem werden alle Zuflüsse (positiv) den Abflüssen (negativ) gegenübergestellt und die über die Datenarten BILK und BILE zusammen gefassten Bereiche bilanziert.
- Durchflussmengen für Kontrolllinien, wenn diese in der Netzdatei definiert wurden (vgl. Kontrolllinienberechnung)
- iterierte Mächtigkeiten für alle Elemente (bei einem Horizontalmodell, das mit einer Iteration der Mächtigkeit berechnet wurde)
- Bahnlinienverfolgung anhand der berechneten Geschwindigkeiten (nur Modul GEONEU)

6.5.8 Batchdatei stationäre Strömung

Der Aufruf der stationären Strömung kann auch direkt ohne die Eingabemaske über die Kommandozeile erfolgen, sofern eine Batch-Datei **.bsi* für das Modul SITRA oder eine Batch-Datei **.bge* für das Modul GEONEU im Verzeichnis vorhanden ist. Durch eine Eingabe in der Kommandozeile wird in das Verzeichnis gewechselt, in dem die Berechnung ausgeführt werden soll. Die Eingabe von *sitra* und dem Bestätigen mit der Enter-Taste führt dazu, dass eine Berechnung mit dem Modul SITRA gestartet wird. Der voreingestellte Batch-Datei-Name für das Modul SITRA ist sitra.bsi. Diese Datei wird im Verzeichnis gesucht. Mit dem Aufruf *sitra* Dateiname kann aber auch eine andere Batch-Datei angegeben werden (die Erweiterung *".bsi"* wird bei Bedarf automatisch angehängt).

Die Eingabe von *geoneu* und dem Bestätigen mit der Enter-Taste führt dazu, dass eine Berechnung mit dem Modul GEONEU gestartet wird. Der voreingestellte Batch-Datei-Name für das Modul GEONEU ist *geoneu.bge*. Diese Datei wird im Verzeichnis gesucht. Mit dem Aufruf *geoneu* Dateiname kann aber auch eine andere Batch-Datei angegeben werden (die Erweiterung *".bge"* wird bei Bedarf automatisch angehängt).

Die Batch-Dateien können auch von Hand mit einem beliebigen Editor erstellt oder verändert werden.

Eine ausführliche Batchdatei kann in der Online-Hilfe eingesehen werden. Ebenso wird dort eine Batchdatei der stationären Strömung zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung gestellt.

6.6 Instationäre Strömung

Aufruf durch: *SPRING → Berechnung → Instationäre Strömung*

Bei der instationären Strömungsberechnung wird die Änderung des Strömungszustands über die Zeit berücksichtigt. Die Änderung des Zustands erfolgt durch zeitveränderliche Randbedingungen. Klassische Anwendungsfälle sind z.B. Hochwasserwellen im Hauptvorfluter oder zeitveränderliche Brunnenentnahmen.

Die Berechnung der instationären Strömung kann durch die Module INSTAT und SITRA erfolgen. Das Modul INSTAT hat Leistungsmerkmale, die dem Modul SITRA fehlen:

- Die Berechnung eines Horizontalmodells mit 3D-Teilbereich
- zusätzlicher Potentialwert im Elementmittelpunkt bei der Stromlinienberechnung aufgrund einer Dreieck- bzw. Viereckzerlegung der einzelner Elemente
- Bahnlinienberechnung

Die Erläuterungen der folgenden Kapitel beziehen sich jedoch allein auf die instationäre Strömungsberechnung mit dem Modul SITRA.

Die Berechnung der Mächtigkeiten bzw. der freien Oberfläche ist bereits im Kapitel „Stationäre Strömung“ auf S. 280 beschrieben.

6.6.1 Theorie der instationären Strömung

Im Kapitel “Stationäre Strömung“ wird die Differenzialgleichung für eine stationäre Strömung mit Quellen- und Senkenterm hergeleitet, als Potential- und auch als Druckgleichung.

Im gesättigten, dichteunabhängigen Fall lautet die instationäre Strömungsgleichung in Abhängigkeit des Drucks:

$$S_0 \frac{\partial h}{\partial t} - \nabla\left(\frac{K_{perm} * k_{rel}}{\eta}(\rho g \nabla z + \nabla p)\right) = q$$

Darin bedeuten:

S_0 = spezifische Speicherkoeffizient [1/m]

h = Potential [m], (Summe aus Druck- und Potentialhöhe)

t = Zeit [s]

K_{perm} = Permeabilität [m²]

k_{rel} = Skalierungsfaktor für relativen k-Wert [-]

η = dynamische Viskosität [kg/(ms)]

ρ= Dichte [kg/m³]

g = Erdbeschleunigung [m/s²]

z = Lagehöhe [m]

p = Druck [N/m²],

q = Quellen/Senkenterm [1/s].

Für die Formulierung der instationären Druckgleichung wird der druckabhängige spezifische Speicherkoeffizient S_{0p} benötigt, der sich aus der durchflusswirksamen Porosität n des Aquifers, der Matrixkompressibilität α und der Fluidkompressibilität β berechnet:

$$S_{0p} = \alpha(1-n) + \beta n$$

Mit:

S_{0p} = spezifischer Druck-Speicherkoeffizient [m²/N] = [ms²/kg]

n = durchflusswirksame Porosität des Aquifers [-]

α = Matrixkompressibilität [m²/N] = [ms²/kg]

β = Fluidkompressibilität [m²/N] = [ms²/kg]

Anmerkung: Ist in der Modelldatei die Kompressibilität des Gesamtsystems (Attribut KOMP) definiert, wird der spezifische Druck-Speicherkoeffizient (S_{0p}) für den gesättigten Bereich durch die Gesamtkompressibilität ersetzt.

Nach Einbeziehen der Dichte ρ, des spezifischen Druck-Speicherkoeffizienten S_{0p} und eines – durch Dichteänderungen bedingten – instationären Quellen-/Senkenterms erhält man die instationäre gesättigt/ungesättigte dichteabhängige Strömungsgleichung in Abhängigkeit des Drucks:

$$(S_r \rho S_{0p} + n\rho \frac{\partial S_r}{\partial p}) \frac{\partial p}{\partial t} + n S_r \frac{\partial \rho}{\partial t} - \nabla(\rho \frac{K_{perm} k_{rel}}{\eta} (\nabla p + \rho g \nabla z)) = q$$

Mit:

$S_r = S_r(p)$ = relative Sättigung in Abhängigkeit des Drucks [-]

S_{0p} = spezifischer Druck-Speicherkoeffizient [m²/N] = [ms²/kg]

n = durchflusswirksame Porosität des Aquifers [-]

Die Einheit der Gleichung entspricht in diesem Fall q = [kg/(m³s)].

6.6.2 Berechnung des Speicherkoeffizienten

Berechnung bei **Horizontalmodellen**:

Für jedes Element (SPEI) bzw. für jeden Knoten (KSPE) kann bei instationären Berechnungen ein Speicherkoeffizient S [-] für einen ungespannten Grundwasserleiter eingegeben werden (S = S_0 * Mächtigkeit m).

Im gespannten Grundwasserleiter wird der voreingestellte spezifische Speicherkoeffizient S_0 = S / Mächtigkeit = 3.3 10^{-6} [1/m] verwendet. Dieser voreingestellte Wert kann während des Eingabedialogs der instationären Berechnung geändert werden.

Bei **Vertikal- und 3D-Modellen** wird die Druckformulierung der Strömungsgleichung verwendet und der Speicherkoeffizient wird aus den Größen

- Druck p,
- Sättigung S_r,
- Dichte ρ,
- durchflusswirksame Porosität n,
- Matrix- und Fluidkompressibilität α, β

berechnet.

Die Kompressibilitäten von Matrix (α) und Fluid (β) werden innerhalb des Eingabedialogs der instationären Berechnung festgelegt.

Im Normalfall wird zur Berechnung des spezifischen Druck- Speicherkoeffizienten für die Größe n [-] die über PORO eingegebene Porosität verwendet.

Wenn mit dem Modul INSTAT gerechnet wird, wird das Attribut SPEI verwendet, da dann ein interne Umrechnung von Knoten- (PORO) auf Elementwerte (SPEI) entfällt.

Wurden keine Speicherkoeffizienten und keine Porosität angegeben, so wird 0.2 als voreingestellter Wert verwendet.

6.6.3 Aufbau der instationären Eingabedatei

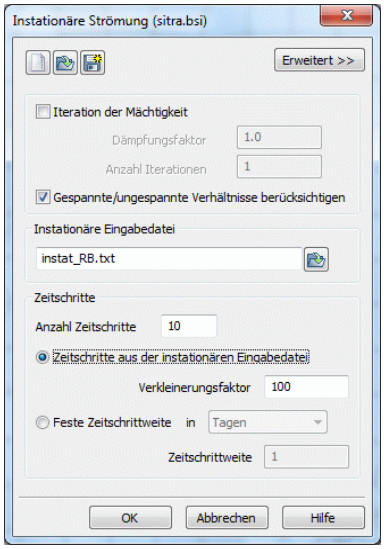
Für die instationäre Berechnung ist eine instationäre Eingabedatei notwendig, welche die sich instationär ändernden Randbedingungen enthält.

Das Erstellen einer instationären Eingabedatei erfolgt am Einfachsten und Sichersten mit Hilfe von instationären Strukturen.

Der Aufbau und das Erstellen der instationären Eingabedatei wird im Kapitel „Datenstruktur, instationäre Eingabedatei“ auf S. **34** erläutert. Dort sind auch die instationären Attribute ausführlich beschrieben unter „Instationäre Datenarten“ (S. **69**).

6.6.4 Eingabeparameter

Nach Auswahl im Menü von *Berechnung → Instationäre Strömung* erscheint das folgende Eingabefenster (2D-Modell):



Voreingestellt ist die Berechnung mit dem Modul SITRA. Daher wird beim Aufruf der Eingabemaske die Batch-Datei mit dem voreingestellten Namen *sitra.bsi* eingelesen (sofern sie vorhanden ist), die Standardeinstellungen in der Maske werden ggf. entsprechend verändert.

Die Umstellung auf eine Berechnung mit dem Modul INSTAT kann in den erweiterten Einstellungen erfolgen. Der voreingestellte Name für eine INSTAT Batch-Datei lautet *instat.bis*.

Iteration der Mächtigkeit (2D-Modell) / teilgesättigte Berechnung (3D-Modell)

Zuerst wird entschieden, ob eine Iteration der Mächtigkeit (im Horizontalmodell) bzw. eine teilgesättigte Berechnung zur Iteration der freien Oberfläche (im 3D-Modell) durchgeführt wird. Wenn ja, wird die gewünschte Anzahl der Iterationsschritte festgelegt. Bei 2D-Horizontalmodellen wird bei einer instationären Strömungsberechnung mit Iteration der Mächtigkeit diese nur aktualisiert und nicht iterativ verändert. Daher wird die Anzahl der Iterationsschritte automatisch auf "1" gesetzt und das Auswahlfeld deaktiviert. Bei einer inversen Modellberechnung wird die Anzahl der Iterationsschritte generell auf "1" gesetzt.

Dämpfungsfaktor

Um Oszillationen bei der Iteration zu vermeiden, wird die Änderung der Mächtigkeit von einem Iterationsschritt zum nächsten mit einem Dämpfungsfaktor 0 < w < 1 versehen. Bei 2D-Horizontalmodellen ist der Dämpfungsfaktor auf "1" gesetzt, das Auswahlfeld erscheint nicht.

Gespannte/ungespannte Verhältnisse berücksichtigen

Diese Checkbox erscheint **nur** bei einem 2D-Horizontalmodell mit einer durch das Attribut UNDU oder OBER eingeschränkten Mächtigkeit. Wenn gespannte Verhältnisse vorliegen, können diese durch Aktivieren der Checkbox bei der Berechnung des Speicherkoeffizienten berücksichtigt werden. Sonst wird der Speicherkoeffizient für ungespannte Verhältnisse (vgl. Kapitel: „Berechnung des Speicherkoeffizienten" auf S. 291) ermittelt.

Instationäre Eingabedatei

Auswahl der Datei mit den instationären Daten (Dateiauswahlfenster).

Zeitschritte

Anzahl Zeitschritte:

Eingabe der Anzahl der zu berechnenden Zeitschritte.

Beeinflussung der Zeitschritte:

Bei der Eingabe der Parameter zur instationären Rechnung können die Zeitpunkte, zu denen gerechnet werden soll, auf verschiedene Weisen beeinflusst werden.

Auswahl 1: Zeitschritte aus der instationären Eingabedatei

Es werden nur die Zeitpunkte aus der instationären Eingabedatei verwendet. Hierbei kann ein Verkleinerungsfaktor angegeben werden.

Auswahl 2: Feste Zeitschritte

Alternativ dazu kann unabhängig von der instationären Eingabedatei eine feste Zeitschrittweite eingegeben (z.B. alle 2 Tage) werden. Fallen diese festen Zeitpunkte mit denen der Eingabedatei zusammen, so werden die entsprechenden Randbedingungen gesetzt. Zeitpunkte der instationären Eingabedatei, die nicht in das Zeitschrittraster fallen, werden mit Ausgabe einer Warnung ignoriert.

Beispiel:

Anzahl Zeitschritte: 10

Feste Zeitschrittweite n = 200 Tage

Damit wird eine instationäre Strömungsberechnung über 10 * 200 = 2000 Tage durchgeführt.

Am Ende der Berechnung liegen dann Ergebnisse nach 200, 400, 600,… und 2000 Tagen vor.

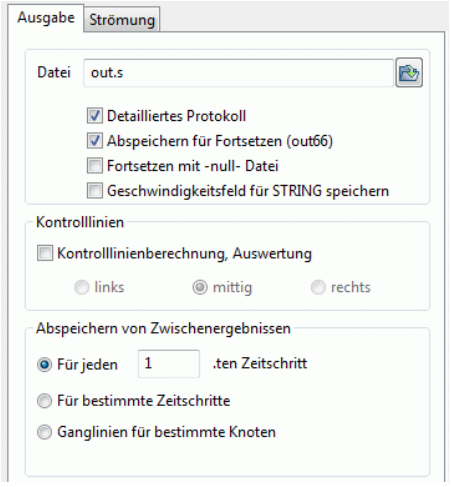
Die Buttons im Kopf des Eingabefensters ermöglichen das Zurücksetzen der Eingabeparameter (), das Öffnen einer vorhandenen Batch-Datei () oder das Speichern der aktuellen Batch-Datei unter einem anderen Namen (). Die Buttons am unteren Rand des Eingabefensters starten die Berechnung (*OK-Button*), schließen den Dialog (*Abbrechen*) oder öffnen die digitale Hilfe (*Hilfe-Button*). Die Auswahl “Erweitert“ führt zu zusätzlichen Einstellungen.

6.6.5 Erweiterte Einstellungen

Durch Aktivieren der Schaltfläche “Erweitert“ lassen sich weitere Parameter festlegen. Bei der instationären Strömungsberechnung erscheinen weitere Eingabemöglichkeiten für die Ausgabe und die Strömung.

6.6.5.1 Ausgabe

Im folgenden Eingabefenster werden die Parameter der Ausgabe festgelegt:



Datei

In diesem Textfeld muss ein Name für die Ausgabedatei angegeben werden. Voreingestellt ist der Name *out.i* im Modul INSTAT bzw. *out.s* im Modul SITRA.

Das Aktivieren des 1. Kontrollkästchens ermöglicht die Ausgabe eines *detaillierten Protokolls*.

Durch Aktivieren des Kontrollkästchens „Abspeichern für Fortsetzen (out66)“ wird bei der Berechnung eine ausführliche Form der Datei out66 (S. **37**) gespeichert, kopiert und in null umbenannt.

Wenn dies in einem vorangegangenen Rechenlauf durchgeführt wurde, steht bei einem erneuten Aufruf des Dialogs ein weiteres Kontrollkästchen zur Auswahl. Bei Aktivierung von „Fortsetzen mit –null-Datei“ kann die Iteration mit den bisher berechneten Daten fortgesetzt werden.

Geschwindigkeitsfeld für STRING speichern

Bei einem instationären Strömungsmodell besteht die Möglichkeit, das berechnete Geschwindigkeitsfeld für jeden Zeitschritt für das Programm STRING zu speichern. Die Daten werden in die Hintergrunddateien geschrieben und können mit STRING direkt eingelesen werden.

Eine ausführliche Erläuterung der Software STRING findet sich im Kapitel „Visualisierung von Geschwindigkeitsverteilungen (Software STRING)" (S. 298).

Wird das Kontrollkästchen nicht aktiviert, wird nur das Geschwindigkeitsfeld des letzten Zeitschrittes gespeichert. Dieses kann ebenfalls mit STRING visualisiert werden.

Kontrolllinien

Nach Aktivieren des Kontrollkästchens wird die Berechnung der Kontrolllinien durchgeführt (soweit diese in der Modelldatei definiert sind). Die Auswertung erfolgt wahlweise über die Geschwindigkeit des linken oder rechten anliegenden Elements oder durch Mittelung der beiden Geschwindigkeiten. Die Theorie hierzu findet sich im Kapitel „How To“ auf S. **411**.

Abspeichern von Zwischenergebnissen

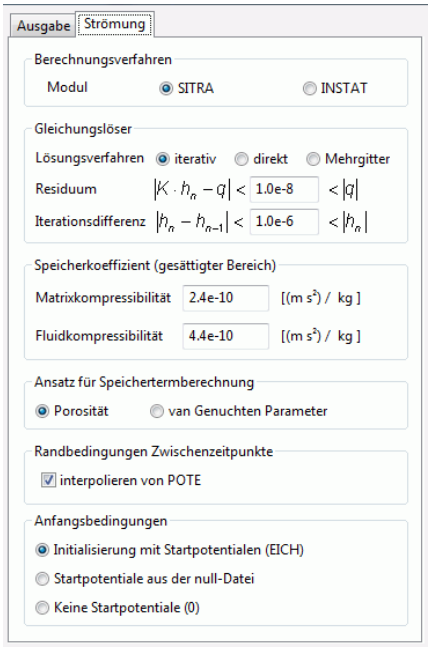
Die Zwischenergebnisse sind erforderlich, um z.B. Isolinienpläne für bestimmte Zeitpunkte (Endzustand ist immer möglich) zu plotten oder Ganglinien über die Zeit darzustellen.

Um bei großen Modellen die Hintergrunddateien nicht unnötig groß werden zu lassen, ist es möglich, die Abspeicherung von Zwischenergebnissen (nicht die Berechnung!) nur zu bestimmten Zeitschritten durchzuführen. Es kann entweder jeder n-te Zeitschritt abgespeichert werden oder es können feste Zeitpunkte in einem separaten Fenster angegeben werden.

Alternativ zur Auswahl spezieller Speicherzeitpunkte können für einzelne Knoten Ganglinien, also die Potentialwerte und Konzentrationen/Temperaturen an allen berechneten Zwischenzeitpunkten abgespeichert werden.

6.6.5.2 Strömung

Nach Aufruf des Dialogfensters “Strömung“ erscheint das folgende Eingabefenster:



Berechnungsverfahren

Es stehen die zwei Berechnungsmodule SITRA und INSTAT zur Verfügung. Voreingestellt ist eine Berechnung mit dem Modul SITRA. Bei einem Horizontalmodell mit dreidimensionalem Teilbereich sowie für die Bahnliniendarstellung muss das Modul INSTAT gewählt werden, weil das Modul SITRA diesen Modelltyp nicht berechnen bzw. diese Ergebnisse nicht liefern kann.

Gleichungslöser und Abbruchkriterien

Das Vorgehen bei den Lösungsverfahren sowie die Abbruchkriterien wurden bei der Berechnung der stationären Strömung (S. 285) bereits beschrieben

Berechnung des Speicherkoeffizienten (gespannter Bereich)

Hier können folgende Parameter geändert werden:

Der spezifische Speicherkoeffizient bei Horizontalmodellen (gespannter GW-Leiter) oder die Fluid- und Matrixkompressibilität bei 3D-Modellen (gesättigt-ungesättigte Berechnung).

Wahl der Speichertermberechnung

Hier wird gewählt, auf welcher Grundlage die Speichertermberechnung erfolgen soll: Bei Wahl der *Porosität* wird für alle Elemente die in der Modelldatei definierte Porosität angesetzt oder die voreingestellte Porosität von 0.2 angenommen. Bei Wahl der *van Genuchten-Parameter* werden diese für die Berechnung des Speicherterms berücksichtigt.

Randbedingungen zu Zwischenzeitpunkten

Wird mit einer festen Zeitschrittweite oder mit verkleinerten Zeitschritten der instationären Eingabedatei gerechnet, so ist es möglich, für die Zwischenzeitschritte, die nicht in der instationären Eingabedatei festgelegt sind, die instationären Randbedingungen zu interpolieren! Grundsätzlich wird dabei folgendes angenommen:

- Instationäre Bergsenkungen werden immer linear interpoliert!
- Ist ein Zeitpunkt in der instationären Eingabedatei aufgeführt (auch ohne Daten), werden die Randbedingungen (Ausnahme BERG) für diesen Zeitpunkt nicht interpoliert, d.h. es werden nur die Daten geändert, die als Datenblöcke nachfolgend aufgeführt sind. Alle anderen Randbedingungen bleiben die des vorhergegangenen Zeitschritts! Zur Erläuterung dienen die folgenden Beispiele.

Beispiel 1:

In der Modelldatei steht: POTE 10.0 1,…., d.h., der Knoten 1 besitzt ein Potential von 10 m NN.

In der instationären Eingabedatei steht:

```
ZEITEINHEIT ZEIT TAG

ZEIT (als 1. Zeitpunkt)
2.0

POTE
     1      12.0
```

d.h., das Potential von Knoten 1 wird im 2. Zeitschritt auf 12 m NN gesetzt.

Bei einer instationären Berechnung mit einer Zeitschrittweite von 1-Tagesschritten ergeben sich je nach Vorgabe für die Interpolation der Randbedingungen für Zwischenzeitpunkte für die instationäre Randbedingung unterschiedliche Vorgaben und zwar:

a) **mit** Interpolation der Randbedingungen:

10.0 für den 0. Zeitschritt (wird eigentlich nicht ausgewertet, Eingabe in Modelldatei)

11.0 für den 1. Zeitschritt (d.h. am 1. Tag)

12.0 für den 2. Zeitschritt (d.h. am 2. Tag)

b) **ohne** Interpolation der Randbedingungen:

10.0 für den 0. Zeitschritt (wird eigentlich nicht ausgewertet, Eingabe in Modelldatei)

10.0 für den 1. Zeitschritt (d.h. am 1. Tag)

12.0 für den 2. Zeitschritt (d.h. am 2. Tag)

Beispiel 2:

In der Modelldatei steht wiederum: POTE 10.0 1,…

In der instationären Eingabedatei steht:

```
ZEITEINHEIT ZEIT TAG

ZEIT (1. Zeitpunkt)
1.0 (ohne Daten)
```

```
ZEIT (2. Zeitpunkt)
2.0

POTE
     1      12.0
```

d.h., das Potential von Knoten 1 wird im 2. Zeitschritt auf 12 m NN gesetzt.

Am 1. Tag ändern sich die Randbedingungen am Knoten 1 nicht. Das Potential wird auch am 1. Tag auf 10.0 m NN festgehalten. Eine gewünschte Änderung muss explizit angegeben werden! Die festen Potentiale im Knoten 1 lauten:

- bei der Eingabe von 1-Tagesschritten als feste Zeitschrittweite oder bei der Rechnung mit den Zeitschrittweiten der instationären Eingabedatei (auch Tagesschritte) mit und ohne Interpolation der Randbedingungen:

  10.0 für den 0. Zeitschritt (wird eigentlich nicht ausgewertet, Eingabe in Modelldatei)

  10.0 für den 1. Zeitschritt (d.h. am 1. Tag)

  12.0 für den 2. Zeitschritt (d.h. am 2. Tag)

- bei der Eingabe von 1/2-Tagesschritten als feste Zeitschrittweite oder bei der Rechnung mit 1/2 Zeitschrittweiten der instationären Eingabedatei (auch 1/2 Tagesschritte):

  a) **mit** Interpolation der Randbedingungen:

  10.0 für den 0. Zeitschritt (wird eigentlich nicht ausgewertet, Eingabe in Modelldatei)

  10.0 für den 1. Zeitschritt (d.h. am 0.5 Tag)

  10.0 für den 2. Zeitschritt (d.h. am 1. Tag)

  11.0 für den 3. Zeitschritt (d.h. am 1.5 Tag)

  12.0 für den 4. Zeitschritt (d.h. am 2. Tag)

  b) **ohne** Interpolation der Randbedingungen:

  10.0 für den 0. Zeitschritt (wird eigentlich nicht ausgewertet, Eingabe in Modelldatei)

  10.0 für den 1. Zeitschritt (d.h. am 0.5 Tag)

  10.0 für den 2. Zeitschritt (d.h. am 1. Tag)

  10.0 für den 3. Zeitschritt (d.h. am 1.5 Tag)

  12.0 für den 4. Zeitschritt (d.h. am 2. Tag)

Zu beachten: Instationäre Mengenrandbedingungen werden immer explizit behandelt. Das heißt:

Zur Berechnung des Zustandes für den Zeitpunkt t_{n+1} werden die Randbedingungen des Zeitpunktes t_n herangezogen.

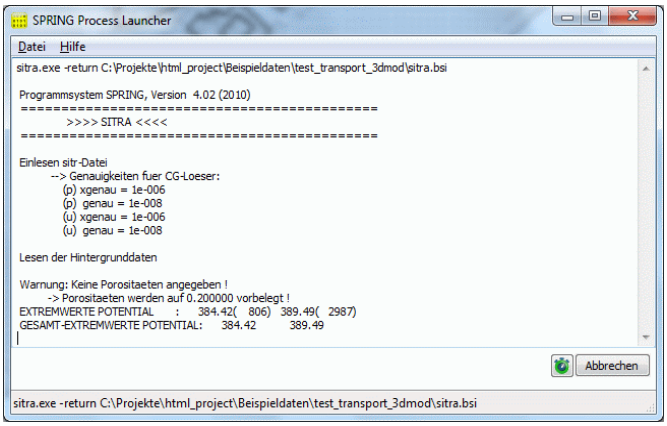
Anfangsbedingungen

Hier wird festgelegt, mit welchen Anfangspotentialen die instationäre Berechnung gestartet wird.

- Verwendung der Eichpotentiale als Anfangspotentiale: Hierbei werden die nach der Kalibrierung berechneten Ergebnispotentiale der stationären Strömung als Anfangspotentiale verwendet. Dazu müssen die Ergebnispotentiale in SPRING über *Attribute → Modelldaten/Berechnungsergebnisse importieren → Potentiale…* auf die Kennung EICH kopiert werden.
- Wurde bereits eine instationäre Berechnung durchgeführt, kann diese mit den in der null-Datei gespeicherten Ergebnispotentialen weitergeführt werden. Dies wird bei der Wahl der Ausgabe-Parameter festgelegt (Abspeichern für Fortsetzen der Iteration (out66)).
- Keine Startpotentiale: Die Iteration wird mit Anfangspotentialen = 0.0 gestartet.

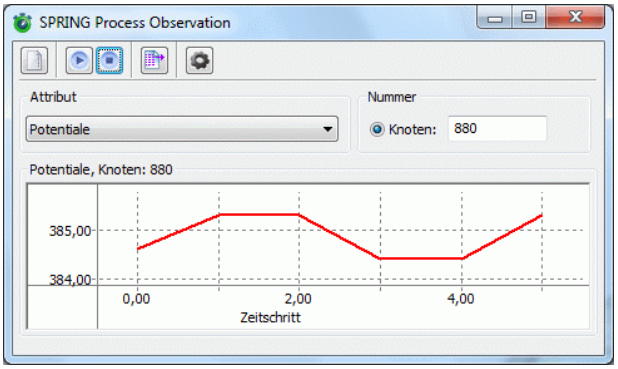
6.6.6 Beobachtung der Berechnungsergebnisse während der instationären Berechnung

Nach Starten der Berechnung erscheint das Protokollfenster des Berechnungslaufs, der SPRING Process Launcher.



Während einer instationären Berechnung ist es möglich, den zeitlichen Verlauf der berechneten Ergebnisse live nachzuverfolgen durch Starten des SPRING Process Observers (Drücken des Buttons) oder durch die Eingabe des Befehls *obs* in der Kommandozeile.

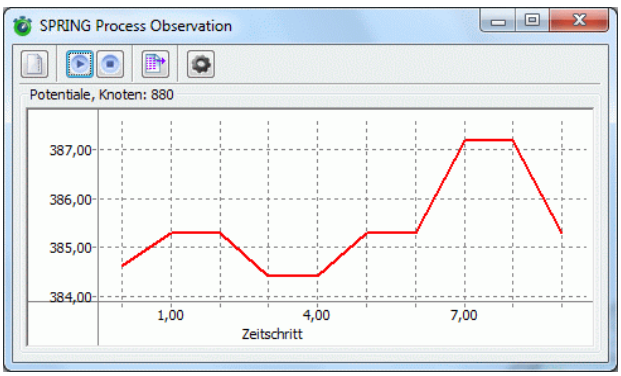
Es erscheint folgendes Fenster:



Nach dem Start muss mit Hilfe des 1. Buttons ( ) zunächst das Verzeichnis ausgewählt werden, in dem eine laufende Berechnung beobachtet werden soll. Bei mehreren zeitgleich laufenden Berechnungen kann hiermit in ein anderes Arbeitsverzeichnis gewechselt werden, in dem eine Ganglinie beobachtet werden soll.

Zunächst können über die Felder *Attribut* und *Nummer* die Datenart und der zu beobachtende Knoten (oder das Element) ausgewählt werden. Gestartet wird die Beobachtung der Berechnungsergebnisse mittels des 2. Buttons:

Der Ganglinienverlauf wird sukzessive angezeigt:

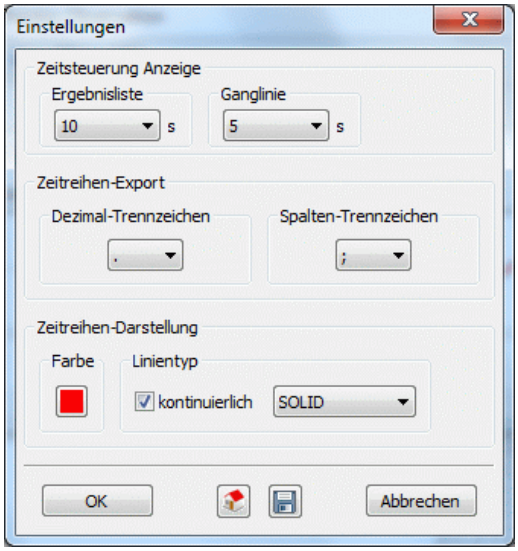


Der laufende Prozess kann gestoppt werden durch Drücken des 3. Buttons: . Danach kann erneut ein Attribut und ein Knoten oder Element ausgewählt und beobachtet werden.

Mit Hilfe des 4. Button ( ) kann die aktuell beobachtete Ganglinie als Datei im csv-Format gespeichert werden.

Auch eine bereits beendete instationäre Berechnung kann mit dem des Process Observer aufgerufen werden.

Durch Drücken des Buttons können die Einstellungen für die Ganglinienspeicherung geändert werden. Es erscheint folgendes Eingabefenster:



Zeitsteuerung Anzeige

In umfangreichen Modellen kann die Berechnung eines Zeitschrittes einige Zeit in Anspruch nehmen.

Die Vorgabe der Sekunden sagt dem Prozess, in welchem Abstand er den Fortschritt der Zeitschritte (*Ganglinie*) bzw. die Änderung in den Ergebnissen (*Ergebnisliste*) in den Hintergrunddateien überprüfen und darstellen soll. Die Überprüfung der Ergebnisse ist in erster Linie bei Datenarten sinnvoll, die erst bei einem bestimmten Ereignis „anspringen“ (z.B. Attribut SICK).

Zeitreihen-Export

Der Anwender kann wählen, welches Dezimal- und Spalten-Trennzeichen in der Gangliniendatei verwendet werden soll.

Zeitreihen-Darstellung

Der Farbe und der Linientyp der Gangliniendarstellung kann frei gewählt werden.

6.6.7 Visualisierung von Geschwindigkeitsverteilungen (Software STRING)

Für die Visualisierung von Geschwindigkeitsverteilungen aus Strömungssimulationen haben sich verschiedene Methoden etabliert. Dazu gehören die Darstellung der Informationen mittels kleiner Pfeile, farbcodierte Strom- und Bahnlinien sowie Schlierenbilder. All diese Methoden haben ihre Stärken und Schwächen. Vor allem aber sind sie ohne Vorwissen zu den betrachteten Daten schwer zu interpretieren. Aus diesem Grund ist in einer Zusammenarbeit zwischen der delta h Ingenieurgesellschaft mbH und dem Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITWM) in Kaiserslautern die Software STRING entstanden, die einen intuitiven Zugang zu den Ergebnissen von Strömungssimulationen bietet.

Das Programm ermöglicht es, stationäre und instationäre Strömungen in zwei Raumdimensionen als Video zu visualisieren. Die relevanten Richtungs- und Geschwindigkeitsinformationen werden durch sich mit der Strömung bewegende Streamlets dargestellt. Als Streamlet bezeichnet man ein kurzes Liniensegment einer Stromlinie. Die Bewegungsrichtung eines Streamlets steht für die Richtung der Strömung und die Länge korreliert mit der Geschwindigkeit.

Die Software ermöglicht den Import von Strömungsdaten aus SPRING und das Abspeichern der einzelnen berechneten Bilder für ein Video. Diese Bilder können auch mit einem transparenten Hintergrund versehen sein, damit man in einem nachgeschalteten Arbeitsschritt beliebige zusätzliche Daten in das Video einblenden kann. Um dies zu erleichtern, wird zusammen mit den Einzelbildern ein Worldfile gespeichert, dass die Georeferenzierung des Videos in einem beliebigen Geoinformationssystem (GIS) ermöglicht.

Für das Erzeugen eines Videos werden aus SPRING Informationen zur Geometrie und den Geschwindigkeiten der Strömung innerhalb dieses Gebietes benötigt. Für die initiale Verteilung der Streamlets wird auf eine bewährte Methode zurück gegriffen, die am ITWM schon seit langem im Rahmen der dort entwickelten Finite Poinset Method (FPM) angewendet wird. Die Bewegungsgleichungen der Streamlets werden mittels eines

adaptiven Runge-Kutta-Verfahrens höherer Ordnung gelöst. Die Fehlertoleranz ist dabei beliebig einstellbar. Zum Interpolieren der Geschwindigkeiten aus den in SPRING berechneten Daten wird die Moving Least Squares Methode verwendet. Dabei werden auch Sonderfälle im Zusammenhang mit komplizierten Geometrien berücksichtigt. Im Laufe der Animation kann es vorkommen, dass sich in Senken des Strömungsgebietes sehr dichte Ansammlungen von Streamlets bilden bzw. von Quellen alle Streamlets weg fließen. Beides führt dazu, dass in diesen Gebieten keine Beurteilung der vorherrschenden Strömung mehr möglich ist. Um dies zu vermeiden, ist ein Management der lokalen Verteilung der Streamlets nötig. Das ITWM kann zur Lösung solcher Probleme auf eine langjährige Erfahrung aus dem Bereich der FPM zurückgreifen. Aus diesem Umfeld wurden in STRING verschiedene Algorithmen implementiert.

Das Programm STRING ist mittels einer grafischen Benutzeroberfläche steuerbar und die Ausgabe der einzelnen Bilder für das Video lässt sich frei anpassen. Parameter sind z.B. gegeben durch die Auflösung und die Laufzeit des fertigen Videos. Aber auch das Aussehen der einzelnen Streamlets lässt sich sehr detailliert anpassen.

6.6.8 Ergebnisse für Zwischenzeitpunkte der instationären Strömungsberechnung

Als Zwischenergebnisse der instationären Strömungsberechnung werden folgende Daten in der Ausgabedatei "out.s" bzw. „out.i“ abgespeichert:

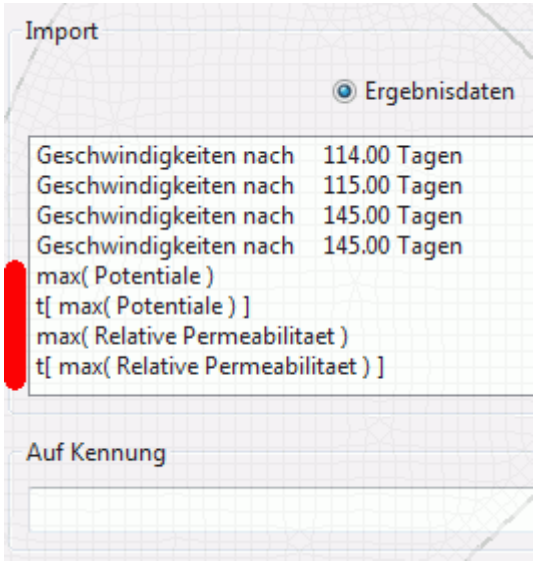
- Potentiale an allen Knoten (bei Auswahl eines detaillierten Protokolls)
- Sättigungen an allen Knoten (bei gesättigt/ungesättigter Rechnung und Auswahl eines detaillierten Protokolls)
- Abstandsgeschwindigkeiten für alle Elemente (in die Hintergrunddateien und bei Anwahl eines detaillierten Protokolls in die Ausgabedatei)
- Massenbilanz der Gesamtmenge aller Zu- und Abflüsse. Diese werden in Relation zur Gesamtmenge der Reaktionsmengen gestellt. Die Summe aller eingegebenen und errechneten Mengen muss annähernd Null ergeben. Außerdem werden alle Zuflüsse (positiv) den Abflüssen (negativ) gegenübergestellt und die über die Datenart BILK und BILE zusammengefassten Bilanzbereiche bilanziert.
- Durchflussmengen für Kontrolllinien.

6.6.9 Endergebnisse der instationären Strömungsberechnung

Die Berechnung liefert am Ende der instationären Rechnung folgende Ergebnisse:

- Potentiale an allen Knoten
- Spitzenwerte der berechneten Daten (z.B. maximale Potentiale) und die zugehörigen Zeitschritte

  Diese können über *Attribute → Modelldaten/Berechnungsergebnisse importieren...* eingelesen werden:



- Sättigungen an allen Knoten (bei gesättigt/ungesättigter Rechnung)
- iterierte Knotenmächtigkeiten für alle Knoten (bei einem Horizontalmodell, das mit einer Iteration der Mächtigkeit berechnet wurde)
- Abstandsgeschwindigkeiten für alle Elemente

- Geschwindigkeitsfeld für den letzten Zeitschritt zur Visualisierung mit STRING
- Geschwindigkeiten für alle Kluftelemente (sofern vorhanden)
- Flurabstände an allen Knoten, sofern in der Modelldatei Geländehöhen (GELA) eingegeben wurden
- Reaktionswerte (Ein- bzw. Ausflussmengen) für alle Knoten mit vorgegebenem Potential
- Leakage-Mengen für Knoten und Elemente, sofern Leakagekoeffizienten (LERA, LEKN, LEEL) und Vorfluthöhen in den Modelldaten angegeben wurden
- Massenbilanz der Gesamtmenge aller Zu- und Abflüsse. Diese werden in Relation zur Gesamtmenge der Reaktionsmengen gestellt. Die Summe aller eingegebenen und errechneten Mengen muss annähernd Null ergeben. Außerdem werden alle Zuflüsse (positiv) den Abflüssen (negativ) gegenübergestellt und die über die Datenart BILK und BILE zusammengefassten Bilanzbereiche bilanziert.
- Durchflussmengen für Kontrolllinien.

6.6.10 Batchdatei instationäre Strömung

Der Aufruf der instationären Strömungsberechnung kann auch direkt ohne die Eingabemaske über die Kommandozeile erfolgen, sofern eine Batch-Datei *.bsi für das Modul SITRA oder eine Batch-Datei *.bis für das Modul INSTAT im Verzeichnis vorhanden ist. In der Eingabe der Kommandozeile wird in das Verzeichnis gewechselt, in dem die Berechnung ausgeführt werden soll. Die Eingabe von sitra und dem Bestätigen mit der Enter-Taste führt dazu, dass eine Berechnung mit dem Modul SITRA gestartet wird. Der voreingestellte Batch-Datei-Name für das Modul SITRA ist sitra.bsi. Diese Datei wird im Verzeichnis gesucht. Mit dem Aufruf sitra Dateiname kann aber auch eine andere Batch-Datei angegeben werden (die Erweiterung ".bsi" wird bei Bedarf automatisch angehängt

Die Eingabe von instat und dem Bestätigen mit der Enter-Taste führt dazu, dass eine Berechnung mit dem Modul INSTAT gestartet wird. Der voreingestellte Batch-Datei-Name für das Modul INSTAT ist instat.bis. Diese Datei wird im Verzeichnis gesucht. Mit dem Aufruf instat Dateiname kann aber auch eine andere Batch-Datei angegeben werden (die Erweiterung ".bis" wird bei Bedarf automatisch angehängt).

Die Batch-Dateien können auch von Hand mit einem beliebigen Editor erstellt oder verändert werden.

Eine ausführliche Batchdatei kann in der Online-Hilfe eingesehen werden. Ebenso werden dort Batchdateien der Strömungsberechnung (mit INSTAT oder SITRA) zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung gestellt.

6.7 Stofftransport

Aufruf durch: *SPRING → Berechnung → Stofftransport*

Die Ausbreitung gelöster Stoffe (Stofftransport) in einem porösen Medium wird durch die Vorgänge so genannter konservativer Transportprozesse (der Advektion, Diffusion und Dispersion) sowie so genannter nichtkonservativer Transportprozesse (Adsorption und chemische und biologische Abbaureaktionen (Produktion und Zerfall)) beeinflusst.

Stoffe, die ausschließlich in den Poren des porösen Mediums transportiert und gespeichert werden (nur konservative Transportprozesse), werden als ideale Tracer bezeichnet.

Die nicht-konservativen Transportprozesse verursachen ein Zurückhalten (Retardation) bzw. eine Verminderung des Stoffgehalts im Grundwasser.

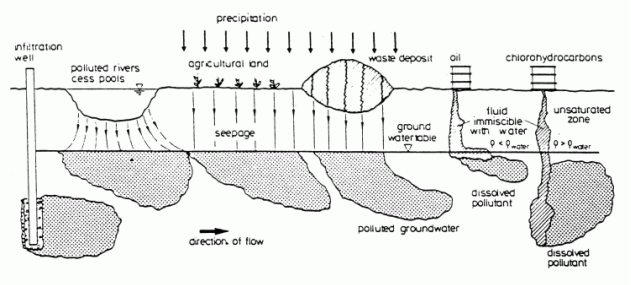


Abb. 203: Mögliche Arten des Stoffeintrags in das Grundwasser

Jedem Transportmodell liegt ein Strömungsmodell zugrunde, so dass sowohl die Parameter zur Beschreibung des Stoffverhaltens im Grundwasser nötig sind, als auch alle für die Strömungsmodellierung erforderlichen Informationen vorliegen müssen.

Für die Stofftransportberechnung ist die Definition mindestens eines der Attribute KONZ (Zuflusskonzentrationen) oder 1KON (Konzentration als Randbedingung 1. Art) erforderlich.

6.7.1 Komponenten des Stofftransports

6.7.1.1 Advektion

Die Advektion beschreibt die passive Bewegung eines Stoffes (oder der Wärme) mit dem bewegten Fluid. Der rein advektive Transport führt zu einer Verlagerung von Stoffteilchen mit der Abstandsgeschwindigkeit v des Wassers in Richtung des Strömungsvektors.

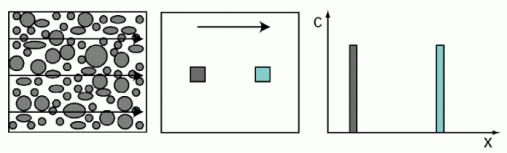


Abb. 204: Betrachtung des rein advektiven Stofftransports

Die Gleichung für den advektiven Massenfluss j_{adv} lautet:

$$j_{adv} = vc$$

Mit:

v = Abstandsgeschwindigkeit [m/s]

c = Konzentration des gelösten Stoffes [kg/kg]

Die Abstandsgeschwindigkeit v ergibt sich aus dem Quotienten der Filtergeschwindigkeit v_f und der Porosität n:

$$v = v_f / n$$

6.7.1.2 Diffusion

Die molekulare Diffusion ist ein Prozess, der unabhängig von der Grundwasserbewegung abläuft. Sie beruht auf der thermischen Eigenbewegung der Moleküle, der Brownschen Molekularbewegung, und führt zu einem Konzentrationsausgleich. Erst wenn die Konzentration eines Inhaltsstoffes an allen Stellen im Grundwasser gleich groß ist, kommt die Diffusion zum Stillstand.

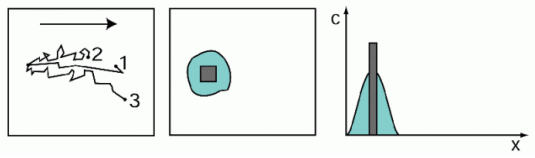


Abb. 205: Betrachtung des diffusen Stofftransports

Der Massenfluss aufgrund molekularer Diffusion j_{diff} wird durch das 1. Fick'sche Gesetz beschrieben:

$$\mathbf{j_{diff} = -d_m \nabla c}$$

mit

d_m = molekularer Diffusionskoeffizient [m²/s].

∇c = Konzentrationsgradient

Hierbei ist der Massenfluss infolge der Brownschen Molekularbewegung proportional zum Konzentrationsgradienten. Analog zum Gesetz von Darcy resultiert das negative Vorzeichen daraus, dass der Massenfluss von hohen zu niedrigen Konzentrationen entgegen dem Konzentrationsgradienten $\nabla \mathbf{c}$ verläuft.

6.7.1.3 Hydromechanische Dispersion

Die hydromechanische Dispersion beschreibt die Verteilung bzw. die Vermischung von gleichen Inhaltstoffen (bzw. Wärme) im bewegten Porenwasser. Dieser Prozess wird durch die unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten in der Pore, die Porengrößenverteilung und die Weglänge, die die einzelnen Stoffteilchen zurücklegen können, verursacht.

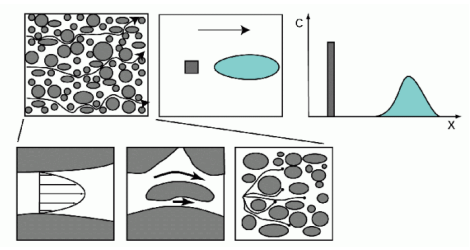


Abb. 206: Betrachtung des dispersiven Stofftransports

Die hydromechanische Dispersion liefert zusätzlich zum advektiven einen weiteren strömungsabhängigen Anteil zum Massen- bzw. Energiefluss. Der Massen- bzw. Energiefluss wird in Anlehnung an die Diffusion mit dem 1. Fick'schen Gesetz beschrieben:

$$\mathbf{j_{disp} = -D_d \nabla c}$$

wobei D_d den symmetrischen Dispersionstensor [m²/s]:

$$\mathbf{D_d} = \begin{vmatrix} \mathbf{D_{11}} & \mathbf{D_{12}} & \mathbf{D_{13}} \\ \mathbf{D_{21}} & \mathbf{D_{22}} & \mathbf{D_{23}} \\ \mathbf{D_{31}} & \mathbf{D_{32}} & \mathbf{D_{33}} \end{vmatrix}$$

darstellt. Seine Koeffizienten in der dreidimensionalen Betrachtung werden nach Frind wie folgt definiert (aus: FRIND, E.O.; BURNETT, R. D. (1987): Simulation of contaminant transport in three dimensions, 2. Dimensionality effects. Water Resour. Res., 23(4), pp. 695-705):

$$D_{11} = \alpha_L \frac{v_1^2}{v} + \alpha_{TH} \frac{v_2^2}{v} + \alpha_{TV} \frac{v_3^2}{v}$$

$$D_{12} = D_{21} = (\alpha_L - \alpha_{TH}) \frac{v_1 v_2}{v}$$

$$D_{22} = \alpha_{TH} \frac{v_1^2}{v} + \alpha_L \frac{v_2^2}{v} + \alpha_{TV} \frac{v_3^2}{v}$$

$$D_{23} = D_{32} = (\alpha_L - \alpha_{TH}) \frac{v_2 v_3}{v}$$

$$D_{33} = \alpha_{TV} \frac{v_1^2}{v} + \alpha_{TV} \frac{v_2^2}{v} + \alpha_L \frac{v_3^2}{v}$$

$$D_{13} = D_{31} = (\alpha_L - \alpha_{TH}) \frac{v_1 v_3}{v}$$

mit:

$\boldsymbol{v}$ = (v_1, v_2, v_3) = Geschwindigkeiten im kartesischen Koordinatensystem [m/s],
v = Betrag der Abstandsgeschwindigkeit v [m/s],
α_L= longitudinale Dispersivität [m],
α_{TH} = transversal-horizontale Dispersivität [m],
α_{TV} = transversal-vertikale Dispersivität [m].

Im Zweidimensionalen werden die Koeffizienten des Dispersionstensors D_d nach Scheidegger definiert:

$$D_d = \begin{vmatrix} D_{11} & D_{12} \\ D_{21} & D_{22} \end{vmatrix}$$

$$D_{11} = \alpha_L \frac{v_1^2}{v} + \alpha_T \frac{v_2^2}{v}$$

$$D_{12} = D_{21} = (\alpha_L - \alpha_T) \frac{v_1 v_2}{v}$$

$$D_{22} = \alpha_T \frac{v_1^2}{v} + \alpha_L \frac{v_2^2}{v}$$

mit:
α_T = transversale Dispersivität [m],

Die Dispersivität ist eine charakteristische Länge, die im Labor oder im Feld gemessen werden kann. Sie ist ein geometrisches Maß für die Durchlässigkeits- und Speicherheterogenität des Grundwasserleiters. Die Größenordnung des Dispersionskoeffizienten α ist vom Maßstab sowie von Porosität, Kornform und Korngröße abhängig.

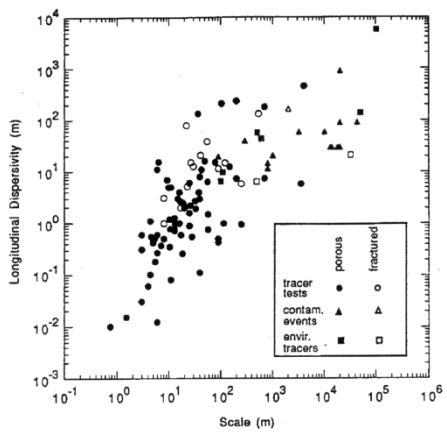


Abb. 207: Longitudinale Dispersivität in Abhängigkeit von der Ausbreitungslänge aus unterschiedlichen Feldversuchen (aus: GELHAR, L. W.; WELTY, D.; REHFELDT, K. R. (1992): A critical review of data on field-scale dispersion in aquifers. Water Resour. Res., 28(7), pp. 1955-1974)

Die **hydrodynamische** (Gesamt-) Dispersion ergibt sich aus der Addition der hydromechanischen Dispersion und der Diffusion.

6.7.1.4 Adsorption

Adsorptionsprozesse, die auch ihre Umkehrung (Desorption) beinhalten, kommen durch die physikalische oder chemische Bindung von Stoffteilchen an die Oberfläche der Körner des Grundwasserleiters zustande. Während die chemische Bindung an die Matrix meist irreversibel ist, ist eine physikalische Anlagerung in der Regel reversibel, d.h. je nach dem Verhältnis zwischen Adsorptions- und Transportgeschwindigkeit stellt sich ein Gleichgewicht zwischen Ad- und Desorption ein. Derartige Gleichgewichte können für konstante Temperaturverhältnisse durch so genannte Adsorptions-Isotherme mit sowohl linearem (Henry-Isotherme) als auch nicht-linearem Charakter (Freundlich- und Langmuir-Isotherme) beschrieben und in der Stofftransportberechnung berücksichtigt werden.

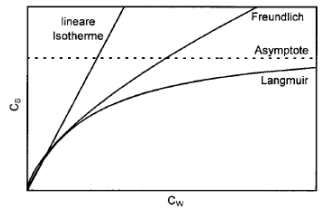


Abb. 208: Gegenüberstellung der unterschiedlichen Adsorptions-Isotherme

Die Adsorptionsrate wird durch eine Funktion $c_s = f(c_w)$ beschrieben:
mit:
c_s = Konzentration der in der Matrix adsorbierten Stoffe
c (oder c_w) = Konzentration der im Fluid gelösten Stoffe.

Alle drei Ansätze (Henry, Freundlich und Langmuir) gehen von einer konstanten Fluiddichte $\rho_0 = \rho(c = 0)$ aus.

6.7.1.4.1 Lineare Adsorption nach Henry

Die lineare Adsorption nach Henry berechnet sich über:

$$c_s = (\chi_1 \rho_0) c$$

mit
c_s = Konzentration der in der Matrix adsorbierten Stoffe [kg/kg],
χ_1 = Henry-Isotherme [m³(Fluid)/kg(Matrix)].

ρ_0 = Fluiddichte [kg/m³],
c = Konzentration der im Fluid gelösten Stoffe [kg/kg]

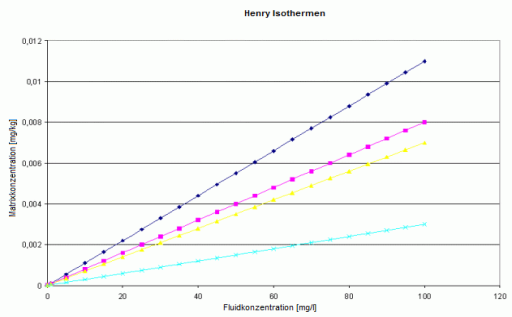


Abb. 209: Parametervariation für die Adsorption nach Henry

6.7.1.4.2 Adsorption nach Freundlich

Die Adsorption nach Freundliche berechnet sich über:

$$c_s = \chi_1 (\rho_0 c)^{(1/\chi_2)}$$

mit
c_S = Konzentration der in der Matrix adsorbierten Stoffe [kg/kg]

χ_1 = 1. Freundlich-Isotherme [m³(Fluid)/kg(Matrix)]

χ_2 = 2. Freundlich-Isotherme [-].

ρ_0 = Fluiddichte [kg/m³],
c = Konzentration der im Fluid gelösten Stoffe [kg/kg]

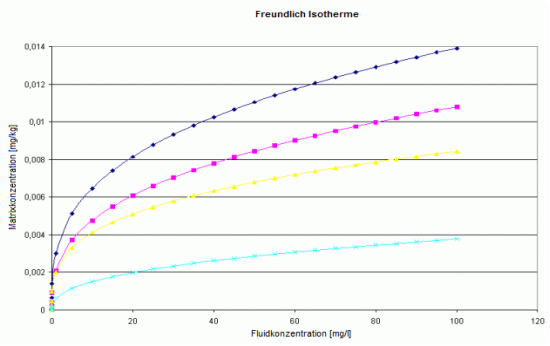


Abb. 210: Parametervariation für die Adsorption nach Freundlich

6.7.1.4.3 Adsorption nach Langmuir

Die Adsorption nach Langmuir berechnet sich über:

$$c_s = \frac{\chi_1 (\rho_0 c)}{1 + \chi_2 (\rho_0 c)}$$

Mit:
c_S = Konzentration der in der Matrix adsorbierten Stoffe [kg/kg

χ_1 = 1. Langmuir-Isotherme [m³(Fluid)/kg(Matrix)]

χ_2 = 2. Langmuir-Isotherme [-]

ρ_0 = Fluiddichte [kg/m³],
c = Konzentration der im Fluid gelösten Stoffe [kg/kg]

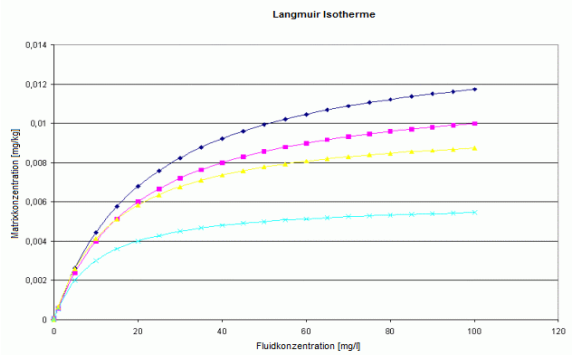


Abb. 211: Parametervariation für die Adsorption nach Langmuir

Der Adsorptionstyp wird mit den zugehörigen Isothermen χ_1 und ggf. χ_2 während des Eingabedialogs der Stofftransportberechnung festgelegt. Voreingestellt ist eine Transportrechnung ohne Adsorption.

6.7.1.5 Abbau und Produktion

Abbau und Produktion von Stoffen im Grundwasser können sowohl chemischer als auch biologischer Natur sein.

Bei der Stofftransportberechnung können Abbau- bzw. Produktionsprozesse berücksichtigt werden. In der Theorie wird zwischen Produktions- bzw. Zerfallsraten der Lösung im Fluid und des Adsorbats in der Matrix unterschieden. Da sich in der Natur diese Vorgänge nicht eindeutig voneinander trennen bzw. zuordnen lassen, wird in der Stofftransportberechnung darauf verzichtet, die Prozesse auch innerhalb der Matrix zu berücksichtigen. Stattdessen werden sämtliche Produktions-, Abbau- oder Zerfallsprozesse nur im Fluid betrachtet.

Für die Abbau- und Produktionsraten im Fluid können verschiedene Ansatzfunktionen gewählt werden. (Abbau: negative Werte, Produktion: positive Werte)

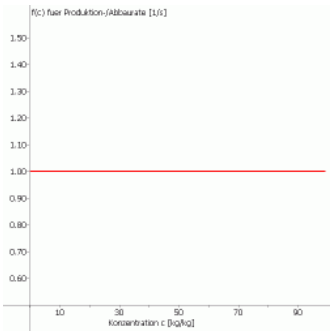
Die Ansatzfunktion legt fest, mit welcher Funktionsvorschrift sich die vorhandenen Konzentrationen im nächsten instationären Zeitschritt vergrößern bzw. verkleinern.

Mögliche Ansatzfunktionen:

- Es werden **keine** Abbau- und Produktionsprozesse betrachtet (voreingestellt!).
- Es wird ein **konstanter** Abbau- oder Produktionsprozess betrachtet:

  f(c) = c = konst.

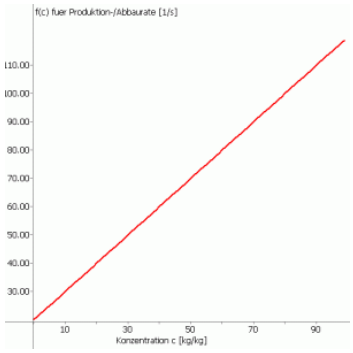
  Der Parameter c entspricht dem Achsenabschnitt der Funktion, im Beispiel ist c = 1.0.



- Es kann eine **lineare** Abbau- bzw. Produktionsrate eingegeben werden:

  f(c) = Achsenabschnitt + Steigung * c

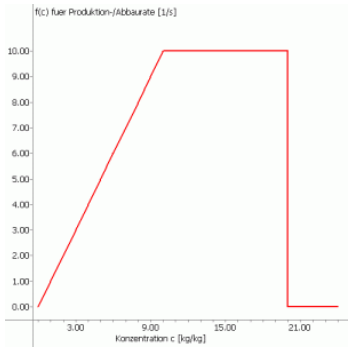
  Im Beispiel beträgt der Achsenabschnitt = 1.0, und die Steigung ist ebenfalls = 1.0.



- Es kann eine **Stufenfunktion** für die Abbau- bzw. Produktionsrate eingegeben werden (beginnend mit f(c=0)=0), die ab einer bestimmten Konzentration (untere Grenze) durch eine maximale Rate (Maximum) beschränkt wird. Ab einer einzugebenden Maximalkonzentration (obere Grenze) wird dann der Abbau bzw. die Produktion wieder auf 0 gesetzt:

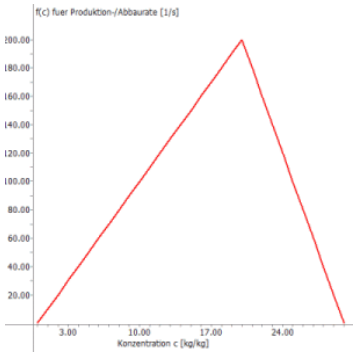
  f(c) = (c_{max}/$c_{untere\ Grenze}$) * c, für: 0 <= c < untere Grenze
  f(c) = c_{max}, für: untere Grenze < c <= oberer Grenze
  f(c) = 0.0, für c >= obere Grenze

  Im Beispiel beträgt, die untere Grenze = 10.0, die obere Grenze = 20.0 und das Maximum 10. 0.



- Wenn eine Zonierung der Stoffparameter vorgenommen wurde (Attribut Z-AP , S. **55**), kann als 4. Ansatzfunktion zusätzlich eine **Zeltfunktion** für die Abbau- bzw. Produktionsrate eingegeben werden, die nach Erreichen eines Maximums wieder abfällt, bis die obere Grenze erreicht ist. Danach wird der Abbau bzw. die Produktion auf 0 gesetzt:
  f(c) = (c_{max}/$c_{untere\ Grenze}$) * c, für: 0 <= c < untere Grenze
  f(c) = - (c_{max}/(c_{og} – c_{ug})), für: untere Grenze <= c <= oberer Grenze
  f(c) = 0.0, für c >= obere Grenze

Im Beispiel beträgt die untere Grenze = 20.0, die obere Grenze = 30.0 und das Maximum = 200.0.



Die jeweiligen Parameter Achsenabschnitt, Maximum, untere Grenze und obere Grenze der Funktion werden in den erweiterten Einstellungen – Abbau und Produktion festgelegt.

6.7.1.6 Radioaktiver oder biologischer Zerfall (Halbwertszeitberechnung)

Beim radioaktiven oder biologischen Zerfall (z.B. durch Bakterien) handelt es sich meist um eine exponentielle Zerfallsrate, die durch die Halbwertszeit beschrieben wird.

Die Halbwertszeit $T_{1/2}$ ist die Zeit, in der sich ein exponentiell mit der Zeit abnehmender Wert halbiert hat.

Die **Halbwertszeitberechnung** basiert auf einer exponentiellen Ansatzfunktion.

$$c(t) = c_0 * \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

Hierin bedeuten:

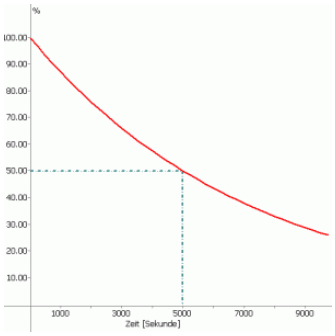
c(t) = Konzentration in Abhängigkeit der Zeit [kg/kg]

c_0 = Ausgangskonzentration [kg/kg]

t = Zeit [s]

$T_{1/2}$ = Halbwertszeit [s]

Im Beispiel wurde die Halbwertszeit auf 5000 Sekunden gesetzt.



Der Parameter $T_{1/2}$ der Funktion wird in den erweiterten Einstellungen – Halbwertszeit (Abbau und Produktion) festgelegt.

6.7.2 Stofftransportgleichung

Für einen gesättigten Aquifer mit **konstanter Dichte** und stationärer Strömung lässt sich der gesamte Massenfluss **j** für den Stofftransport als Summe der einzelnen Massenflüsse aus Advektion (j_{adv}), Diffusion (j_{diff}) und Dispersion (j_{disp}) wie folgt mathematisch formulieren:

$$\mathbf{j} = \mathbf{j}_{adv} + \mathbf{j}_{diff} + \mathbf{j}_{disp}$$

Da der Transport des Inhaltsstoffs nur im durchflusswirksamen Porenraum (n) des Grundwasserleiters stattfindet, muss dieser bei einer volumenbezogenen Betrachtung zusätzlich eingeführt werden:

$$\mathbf{j}_v = \mathbf{nj}$$

mit:

j_v = volumenbezogener gesamt Massenfluss [(m kg)/(s kg)]

n = durchflusswirksamer Porenraum [-]

j = gesamt Massenfluss [(m kg)/(s kg)]

Durch Einsetzen der einzelnen Komponenten, erhält man die Gleichung:

$$\mathbf{j}_v = \mathbf{n}(\mathbf{vc} - \mathbf{d}_m \nabla \mathbf{c} - \mathbf{D}_d \nabla \mathbf{c})$$

Der Anteil der molekularen Diffusion und die hydromechanische Dispersion können zur hydrodynamischen Dispersion zusammengefasst werden:

$$\mathbf{D} = \mathbf{d_m I} + \mathbf{D_d}$$

Mit der Einheitsmatrix **I**:

$$\mathbf{I} = \begin{vmatrix} \mathbf{1} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{1} \end{vmatrix}$$

Es resultiert die Gleichung für den stationären Massenfluss:

$$\mathbf{j_v} = \mathbf{n(vc - (d_m I + D_d)\nabla c)}$$

Die Massenbilanz ermöglicht die Betrachtung der Konzentrationsänderung über die Zeit (instationärer Stofftransport), bezogen auf die in ein Kontrollvolumen ein- bzw. ausfließenden Stoffmengen unter Berücksichtigung von Quellen und Senken (**σ**), d.h. Stellen, an denen dem System Stoff zugeführt bzw. entnommen wird:

$$\mathbf{n}\frac{\partial \mathbf{c}}{\partial \mathbf{t}} + \nabla \mathbf{n(vc - (d_m I + D_d)\nabla c)} - \sigma = \mathbf{0}$$

Der Term **σ** steht für alle Stoffein- und –austräge und kann folgendermaßen aufgeschlüsselt werden:

$\sigma = \mathbf{qc^*} + \mathbf{R_i}$ mit:

qc* = volumenbezogene Zugabe oder Entnahme von Wasser mit der Konzentration c*

R_i = Anteile aller nichtkonservativen Stofftransportprozesse wie Adsorption, chemische oder biologische Abbaureaktionen

Unter Anwendung der Produktregel für den Advektionsterm:

$\nabla\mathbf{(nvc)} = \mathbf{nv\nabla c + c\nabla nv}$,

der Kontinuitätsbedingung

$\nabla\mathbf{(nv)} = \mathbf{q}$ und der Zusammenfassung $\mathbf{D} = \mathbf{d_m I} + \mathbf{D_d}$

ergibt sich die instationäre Stofftransportgleichung für ideale Tracer bei konstanter Dichte des Aquifers zu:

$$\mathbf{n}\frac{\partial \mathbf{c}}{\partial \mathbf{t}} + \mathbf{nv\nabla c} - \nabla\mathbf{(nD\nabla c)} = \mathbf{qc^*}$$

Beispiel:

q entspricht z.B. dem Attribut Knotenentnahme/-zugabe KNOT oder einer Reaktionsmenge, Einheit [m³/ZE] und c* entspricht dem dazu korrespondierenden Attribut KONZ.

Sind gesättigt/ungesättigte Verhältnisse im Aquifer vorhanden, muss die Sättigung $\mathbf{S_r}$ in der Stofftransportgleichung berücksichtigt werden:

$$\mathbf{nS_r}\frac{\partial \mathbf{c}}{\partial \mathbf{t}} + \mathbf{nS_r v\nabla c} - \nabla\mathbf{(nS_r D\nabla c)} = \mathbf{qc^*}$$

Die Einheit dieser Gleichung ergibt sich, abhängig von der Einheit der Konzentrationsrandbedingung, zu [kg Stoff / (kg Lösung *s)] oder [kg Stoff / (m³ Lösung *s)].

6.7.2.1 Nicht-konservative Prozesse

Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über die nicht-konservativen Stofftransportprozesse:

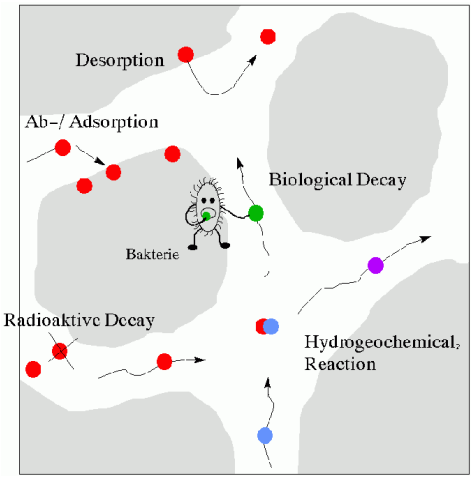


Abb. 212: Nicht-konservative Stofftransportprozesse

Bei Einbeziehung der **Adsorptionsprozesse** in die Transportgleichung ist zu beachten, dass die Gesamtmasse des betrachteten Inhaltsstoffes in einem Referenzvolumen nicht allein aus der gelösten und transportierten Stoffmenge (nc), sondern zusätzlich aus der adsorbierten Stoffmenge $(c_s(1-n)\rho_s)$ besteht. Die Konzentration des adsorbierten Stoffes (c_s) wird hierbei auf den Feststoffanteil (1-n) bezogen, wobei zusätzlich die Dichte der Matrix (ρ_s) zu berücksichtigen ist.

In diesem Fall muss in die Transportgleichung der folgende Term aufgenommen werden:

$$R_1 = \frac{\partial c_s}{\partial t}((1-n)\rho_s)$$

in die Transportgleichung aufgenommen werden mit:

R_1 = Anteile des nichtkonservativen Stofftransportprozesse aus Adsorption

c_s = adsorbierte Konzentration in der Matrix [kg/kg]

n = durchflusswirksamer Porenraum [-]

ρ_s = Dichte der Matrix [kg/m³]

Die Adsorptionsrate wird durch eine Funktion $c_s = f(c)$ beschrieben, die wahlweise durch die Adsorptions-Isotherme nach Henry, Freundlich oder Langmuir definiert wird.

Bei der Einbeziehung von **Produktion bzw. Abbau** ist zu berücksichtigen, dass dies theoretisch sowohl im Fluid als auch in der Matrix auftritt. Der entsprechende Term R besteht daher aus zwei Teilen mit unterschiedlichen Abbau- bzw. Produktionsfunktionen für die Lösung im Fluid f(c) und die adsorbierten Stoffe in der Matrix $f_s(c_s)$:

$$R_2 = nS_r f(c) + (1-n) f_s(c_s)$$

Mit:

R_2 = Anteile des nichtkonservativen Stofftransportprozesses aus Produktion bzw. Abbau

Bei der Stofftransportberechnung in SPRING werden Produktions- und Abbauprozesse jedoch nur im Fluid betrachtet, da eine Trennung dieser Prozesse in der Natur gar nicht möglich ist.

Aufgrund der Irreversibilität dieser Prozesse findet hier keine Speicherung statt!

Statt Produktion und Abbau zu berücksichtigen, besteht die Möglichkeit, eine **Halbwertszeitberechnung** durchzuführen.

Der entsprechende Term R ergibt sich dann zu:

$$R_3 = nS_r c(t)$$

Mit:

R_3 = Anteile des nichtkonservativen Stofftransportprozesses aus Halbwertszeit

6.7.3 Rand- und Anfangsbedingungen

Die beschriebenen Differentialgleichungen werden ergänzt durch die Randbedingungen:

- Randbedingung 1. Art: Vorgabe von festen Konzentrationen (Attribut 1KON):

  $$c = c^*$$

- Randbedingung 2. Art: Vorgabe eines diffusiv-dispersiven Massenflusses auf dem Rand. Die nahezu ausschließliche praktische Anwendung besteht jedoch darin, den Rand für Diffusion und Dispersion undurchlässig zu machen, so dass gilt:

  $$-(D\nabla c)N = j = 0$$

  (N bezeichnet die nach außen weisende Normale zum Modellrand).

Das Gleichungssystem ist nur lösbar, wenn an mindestens einem Knoten eine Randbedingung 1. Art definiert ist

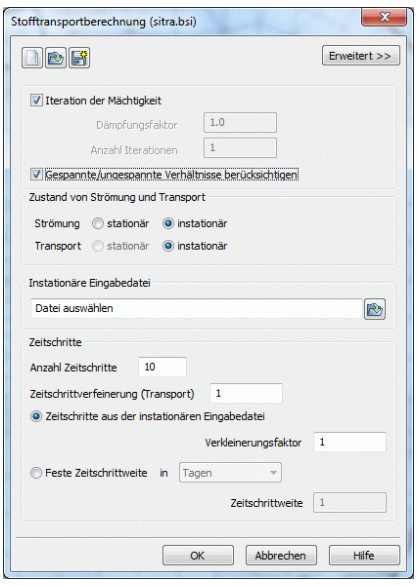
Für eine instationäre Stofftransportgleichung müssen im gesamten Modellgebiet Anfangsbedingungen für den Startzeitpunkt vorgegeben werden:

- Anfangsbedingung: Anfangskonzentration für den Startzeitpunkt t_0 der instationären Rechnung (Attribut AKON):

  $$c(t_0) = c_0^*$$

6.7.4 Eingabeparameter

Nach Auswahl im Menü von *Berechnung* → *Stofftransport* erscheint das folgende Eingabefenster:



Eine Stofftransportberechnung ist nur mit dem Modul SITRA möglich. Beim Aufruf des Eingabefensters liest das Programm die Batch-Datei mit dem voreingestellten Namen *sitra.bsi*, sofern sie vorhanden ist, ein. Die Einstellungen werden ggf. entsprechend geändert.

Iteration der Mächtigkeit (2D-Modell) / teilgesättigte Berechnung (3D-Modell)

Zuerst wird entschieden, ob in der Strömungsberechnung eine Iteration der Mächtigkeit (im Horizontalmodell) bzw. eine teilgesättigte Berechnung zur Iteration der freien Oberfläche (im 3D-Modell) durchgeführt wird. Wenn ja, werden die gewünschte Anzahl der Iterationsschritte und der Dämpfungsfaktor festgelegt. Bei einer

instationären Berechnung von 2D-Horizontalmodellen sind die Anzahl der Iterationsschritte und der Dämpfungsfaktor auf "1" gesetzt, die Auswahlfelder sind deaktiviert. Bei einer inversen Modellberechnung wird die Anzahl der Iterationsschritte generell auf "1" gesetzt, der Dämpfungsfaktor kann jedoch (außer bei 2D-Horizontalmodellen) eingegeben werden.

Gespannte/ungespannte Verhältnisse berücksichtigen

Diese Checkbox erscheint **nur** bei einem 2D-Horizontalmodell mit einer durch das Attribut UNDU oder OBER eingeschränkten Mächtigkeit. Wenn gespannte Verhältnisse vorliegen, können diese durch Aktivieren der Checkbox bei der Berechnung des Speicherkoeffizienten berücksichtigt werden. Sonst wird der Speicherkoeffizient für ungespannte Verhältnisse (vgl. Kapitel „Berechnung des Speicherkoeffizienten“ auf S. **291**) ermittelt.

Zustand von Strömung und Transport

Hier wird die Auswahl getroffen, ob Strömung und Transport stationär oder instationär gerechnet werden. Falls der Stofftransport stationär gerechnet wird, ist eine Berechnung mit Adsorption bzw. Produktion und Abbau nicht möglich.

Instationäre Eingabedatei

Auswahl der Datei mit den instationären Daten (Dateiauswahlfenster)

Zeitschritte

Eine Erläuterung zu den anzugebenden Zeitschrittweiten ist bereits im Kapitel „Modellaufbau – Aufbau eines Transportmodells“ auf S. **231** beschrieben.

Die Buttons im Kopf des Eingabefensters ermöglichen das Zurücksetzen der Eingabeparameter ( ), das Öffnen einer vorhandenen Batch-Datei ( ) oder das Speichern der aktuellen Batch-Datei unter einem anderen Namen ( ). Die Buttons am unteren Rand des Eingabefensters starten die Berechnung (*OK-Button*), schließen den Dialog (*Abbrechen*) oder öffnen die digitale Hilfe (*Hilfe-Button*).

Die Auswahl “Erweitert“ führt zu zusätzlichen Einstellungen.

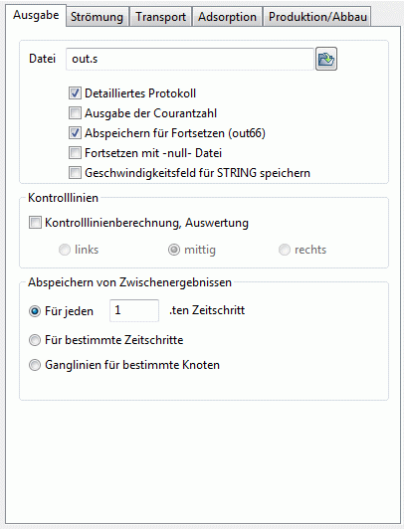
6.7.5 Erweiterte Einstellungen

Durch Aktivieren der Schaltfläche “Erweitert“ lassen sich weitere Parameter festlegen. Bei der Stofftransportberechnung erscheinen folgende Eingabemöglichkeiten für die:

- Ausgabe
- Strömung
- Transport
- Adsorption (nur bei instationärer Berechnung)
- Produktion/Abbau (nur bei instationärer Berechnung)
- Halbwertszeit (nur bei instationärer Berechnung)

6.7.5.1 Ausgabe

Nach Aufruf des Dialogfensters „Ausgabe“ erscheint das folgende Eingabefenster für die Dateiausgabe.



Ausgabe der Courant-Zahl (nur bei instationärer Berechnung)

Die Courant-Zahl ist ein Maß für das Stabilitätskriterium der Zeitdiskretisierung bei Stofftransportprozessen.

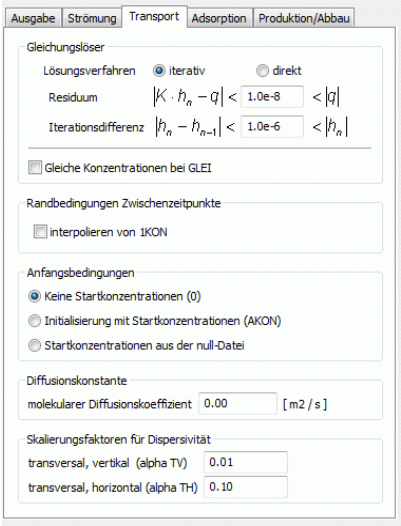
Die übrigen Eingaben sind bereits unter im Kapitel „Instationäre Strömung – Ausgabe“ auf S. **293** detailliert beschrieben.

6.7.5.2 Strömung

Da die Eingaben der Notebookseite "Strömung" identisch zu denen sind, die bereits bei der instationären Strömung beschrieben wurden, sei hier auf das Kapitel „Instationäre Strömung – Strömung“ auf S. **294** verwiesen

6.7.5.3 Transport

Nach Aufruf des Dialogfensters „Transport“ erscheint das folgende Eingabefenster für die Parameter der Transportberechnung.



Gleichungslöser

Als Gleichungslöser kann entweder der iterative PCG-Löser oder der direkte Cholesky-Gleichungslöser gewählt werden. Wegen seiner Rechenzeit- und Speicherplatzvorteile empfiehlt sich ab ca. 500 Knoten der iterative Gleichungslöser. Im Gegensatz zum direkten Verfahren wird die Lösung zwar nicht exakt berechnet; der Fehler ist aber in der Regel vernachlässigbar gering. Eine Genauigkeitsprüfung kann anhand der in der Ausgabedatei angegebenen Massenbilanz erfolgen. Erläuterungen zu den Gleichungslösern und Abbruchkriterien finden sich unter "Stationäre Strömung - Erweiterte Einstellungen im Modul SITRA" (S. 285).

Gleiche Konzentrationen

Hier wird festgelegt, ob an Knoten mit dem Attribut GLEI auch gleiche Konzentrationen berechnet werden sollen.

Für Knoten, an denen gleiche Potentiale festgelegt wurden, kann bei Transportrechnungen gewählt werden, ob an diesen Knoten die Konzentrationen ebenfalls gleichgesetzt werden sollen, oder ob dies nicht gewünscht wird. Gleiche Konzentrationen bei gleichen Potentialen sind z.B. an vollkommenen Brunnen, (Potentiale über die Höhe werden gleichgesetzt) sinnvoll. Liegen große offene Wasserflächen (Seen, mit gleichen Potentialen) im Transportmodell, so kann das Gleichsetzen der zugehörigen Konzentrationen folgendermaßen interpretiert werden:

Die am Einströmrand des Sees ankommenden Konzentrationen werden ohne zeitliche Verzögerung direkt zum Ausströmrand der Wasserfläche transportiert. Werden die Konzentrationen nicht gleichgesetzt, findet im Bereich der offenen Wasserfläche ein Transport statt. Da in Elementen innerhalb der Wasserfläche dann Geschwindigkeiten von nahezu 0 berechnet werden, wird diese Vorgehensweise zu großen numerischen Problemen führen. Grundsätzlich ist ein Transportmodell mit einer großen offenen Wasserfläche im Bereich der zu erwartenden Stoffausbreitung mit den vorliegenden Berechnungsmethoden nur unter vereinfachenden Annahmen berechenbar, da die Transportprozesse in der offenen Wasserfläche mit einem Strömungs- und Transportmodell, das für den angrenzenden Grundwasserleiter erstellt ist, nicht berechnet werden können!

Randbedingungen Zwischenzeitpunkte

Wird mit einer festen Zeitschrittweite oder mit verkleinerten Zeitschritten der instationären Eingabedatei gerechnet, ist es möglich, für die Zwischenzeitschritte, die nicht in der instationären Eingabedatei festgelegt sind, die instationären Randbedingungen für die Konzentrationen zu interpolieren. Es gelten die gleichen Ausführungen, die schon bei der instationären Strömungsberechnung beschrieben wurden.

Anfangsbedingungen

Hier wird festgelegt, mit welchen Anfangskonzentrationen die instationäre Transportberechnung gestartet wird.

- Keine Startkonzentrationen: Die Iteration wird mit Anfangskonzentrationen c_0= 0.0 gestartet
- Verwendung der Anfangskonzentrationen: Hierbei werden die in der Modelldatei festgelegten Anfangskonzentrationen (AKON) verwendet.
- Wurde bereits eine instationäre Berechnung durchgeführt, kann diese mit den in der null-Datei gespeicherten Ergebniskonzentrationen weitergeführt werden. Dies wird bei der Wahl der Ausgabe-Parameter festgelegt (Abspeichern für Fortsetzen der Iteration (out66)).

Diffusionskonstante

Festlegen des molekularen Diffusionskoeffizienten d_m in [m²/s].

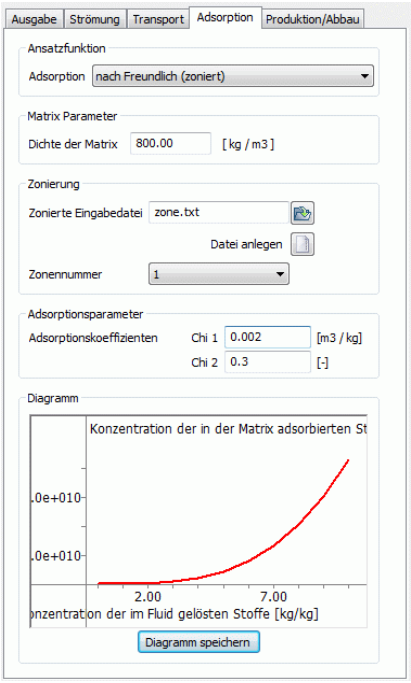
Dispersivitäten

Festlegen der Skalierungsfaktoren für die transversal-horizontalen (α_{TH}) und transversal-vertikalen (α_{TV}) Dispersivitäten [m].

Die Skalierung bezieht sich auf die longitudinale Dispersivität, die in der Modelldatei durch das Attribut DISP definiert ist.

6.7.5.4 Adsorption

Nach Aufruf des Dialogfensters „Adsorption“ erscheint das folgende Eingabefenster für die Parameter der Adsorptionsberechnung (nur bei instationärer Berechnung).



Ansatzfunktion

Wahl der Adsorptions-Isothermen: Es wird unterschieden nach:

- Henry
- Freundlich
- Langmuir

Die einzelnen Isothermen mit ihren jeweiligen Eingabeparametern sind im Kapitel „Adsorption“ auf S. 304 detailliert beschrieben.

Matrixparameter

Definition der Dichte der Matrix (Bodenkennwert) in [kg/m³]

Zonierung

Die Adsorption kann auch zoniert mit verschiedenen Parametern für die jeweiligen Zonen berechnet werden (Attribut Z-KD).

Ist schon eine Zonierungsdatei vorhanden, kann diese über das erscheinende Dateiauswahlfenster ausgewählt werden. Für eine neue Zonierung kann man sich über den Button eine vorformatierte Datei im *.txt-Format erstellen lassen. Zum Aufbau der Datei sei auf das Kapitel „Aufbau der Zonierungsdateien“ auf S. **38** Datenstruktur des Grundwassermodells) verwiesen.

Adsorptionsparameter

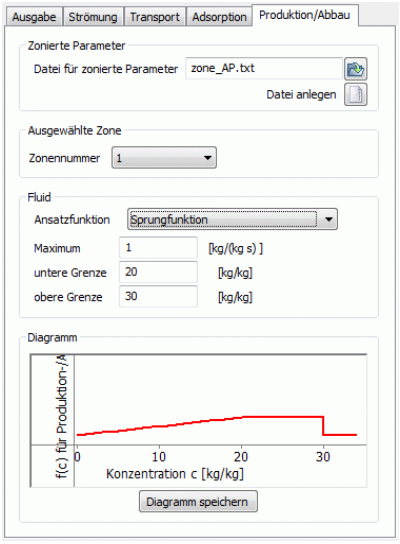
Je nach gewählter Adsorptions-Isotherme werden hier die benötigten Koeffizienten χ_1 bzw. χ_2 eingegeben, Einheit [m³/kg].

Diagramm

Anhand der eingegeben Parameter und der zugrunde liegenden Isotherme wird ein Vorschau-Diagramm erstellt. Dieses kann als Bild gespeichert werden (Diagramm speichern).

6.7.5.5 Abbau und Produktion

Nach Aufruf des Dialogfensters „Abbau und Produktion“ erscheint das folgende Eingabefenster für die Parameter der Abbau- bzw. Produktionsberechnung (nur bei instationärer Berechnung).



Zonierung

Auch Abbau und Produktion kann zoniert mit verschiedenen Parametern für die jeweiligen Zonen berechnet werden (Attribut Z-AP).

Ist schon eine Zonierungsdatei vorhanden, kann diese über das erscheinende Dateiauswahlfenster ausgewählt werden. Für eine neue Zonierung kann man sich über den Button eine vorformatierte Datei im *.txt-Format erstellen lassen. Zum Aufbau der Datei sei auf das Kapitel „Aufbau der Zonierungsdateien“ auf S. **38** (Datenstruktur des Grundwassermodells) verwiesen.

Fluid

Auswahl der Funktionen für Abbau und Produktion und Eingabe der Abbau- bzw. Produktionsparameter des Fluids.

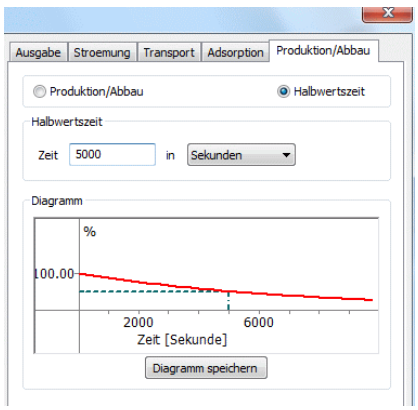
Die Ansatzfunktionen sowie die einzelnen Parameter sind im Kapitel „Abbau und Produktion“ auf S. 306 erläutert.

Diagramm

Anhand der eingegeben Parameter und der zugrunde liegenden Ansatzfunktion wird ein Vorschau-Diagramm erstellt. Dieses kann als Bild gespeichert werden (Diagramm speichern).

6.7.5.6 Halbwertszeit

Nach Aufruf des Dialogfensters „Abbau und Produktion“ und wenn keine Zonierungsdaten in der Modelldatei vorhanden sind, kann bei der Berechnung zwischen Abbau und Produktion bzw. der Halbwertszeitberechnung unterschieden werden. Bei Wahl der Halbwertszeitberechnung erscheint das folgende Eingabefenster (nur bei instationärer Berechnung):



Halbwertszeit

Eingabe der Halbwertszeit des radioaktiven oder biologischen Zerfalls

Diagramm

Anhand des eingegeben Zeitfaktors wird ein Vorschau-Diagramm erstellt. Dieses kann als Bilddatei gespeichert werden (Diagramm speichern).

6.7.6 Ergebnisse für Zwischenzeitpunkte der instationären Stofftransportberechnung

Als Zwischenergebnisse der instationären Stofftransportberechnung werden neben den „reinen strömungsrelevanten Daten“ (S. **299**) auch die temporären Konzentrationen an allen Knoten in der Ausgabedatei "out.s" und in den Hintergrunddateien abgespeichert.

6.7.7 Endergebnisse der Stofftransportberechnung

Die Berechnung liefert am Ende des instationären Stofftransports neben den reinen strömungsrelevanten Daten auch die endgültigen Konzentrationen an allen Knoten.

6.7.8 Batchdatei Stofftransport

Der Aufruf der Stofftransportberechnung kann auch direkt ohne die Eingabemaske über die Kommandozeile erfolgen, sofern eine geeignete Batch-Datei **.bsi* und *sitr* Datei für das Modul SITRA im Verzeichnis vorhanden ist. In der Eingabe der Kommandozeile wird in das Verzeichnis gewechselt, in dem die Berechnung ausgeführt werden soll. Die Eingabe von sitra und dem Bestätigen mit der Enter-Taste führt dazu, dass eine Berechnung mit dem Modul SITRA gestartet wird. Der voreingestellte Batch-Datei-Name für das Modul SITRA ist *sitra.bsi*. Diese Datei wird im Verzeichnis gesucht. Mit dem Aufruf *sitra* Dateiname kann aber auch eine andere Batch-Datei angegeben werden (die Erweiterung "*.bsi*" wird bei Bedarf automatisch angehängt). Die Batch-Dateien können auch von Hand mit einem beliebigen Editor erstellt oder verändert werden.

Eine ausführliche Batchdatei kann in der Online-Hilfe eingesehen werden. Ebenso wird dort eine Batchdatei der Stofftransportberechnung zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung gestellt.

6.8 Dichteabhängiger Stofftransport

Aufruf durch: *SPRING → Berechnung → Stofftransport (dichteabhängig)…*

Die dichteabhängige Strömung ist nur in Vertikal- oder 3D-Modellen möglich!

Bei der dichteabhängigen Berechnung ist die Dichte des Grundwassers abhängig von der Konzentration des gelösten Stoffes:

$$\rho_w = \rho_w(c)$$

Zur Berechnung einer dichteabhängigen Strömung muss die Dichte ρ in der Strömungs- und Transportgleichung berücksichtigt werden. Die vollständige Transportgleichung lautet:

$$nS_r\rho_w \frac{\partial c}{\partial t} + nS_r\rho_w v\nabla c - \nabla(nS_r\rho_w D\nabla c) = q\rho_w c^* + R_i\rho_w$$

Durch die Einbeziehung der Dichte ergibt sich die Einheit der dichteabhängigen Stofftransportgleichung zu: [kg Stoff / (m³ Lösung *s)]

6.8.1 Umsetzung in SPRING

Die Berechnung in SITRA sieht eine lineare Abhängigkeit der Dichte ρ von der Konzentration c vor. Die allgemeine Gleichung für eine konzentrationsabhängige Dichte ρ(c) lautet:

$$\rho(c) = \rho_0 + \alpha(c - c_0)$$

Mit:

ρ(c) = konzentrationsabhängige Dichte der Lösung [kg/m³]

c = Konzentration [kg Stoff / m³ Lösung]

c_0 = Referenzkonzentration [kg Stoff / m³ Lösung],

ρ_0 = Dichte bei der Referenzkonzentration **c_0** in [kg/m³]: $\rho_0 = \rho(c = c_0)$

α = konstante Dichtesteigung,

Diese Parameter werden innerhalb des Eingabedialogs der dichteabhängigen Stofftransportberechnung definiert, dabei ist folgendes zu beachten:

Im Berechnungsmodul SITRA wird intern mit Konzentrationen (c_{kg}) in der Einheit [kg Stoff/ kg Lösung] gerechnet (z.B. 1KON oder AKON). In der Praxis ist dagegen oft eine Angabe in [g/l]=[kg/m³] üblich (c).

Zwischen den beiden Größen gilt die Beziehung:

$$c_{kg}\left[\frac{kg(Stoff)}{kg(Lösung)}\right] = c\left[\frac{kg(Stoff)}{m^3(Lösung)}\right] / \rho(c)$$

ρ(c) = 1000 kg/m³ für Wasser.

Alle Eingaben der Modelldatendateien (*.net, *.3d, Zusatzdateien und instationäre Eingabedateien) (KONZ, AKON und 1KON) werden bei einer dichteabhängigen Berechnung als Eingaben in der Einheit [kg/kg] interpretiert. Allerdings werden die Ergebnisse (= berechnete Konzentrationen) bei einer dichteabhängigen Berechnung in [kg/m³] = [g/l] umgerechnet, wodurch ein- und ausgegebene Konzentrationswerte nicht mehr direkt vergleichbar sind. Dies gilt auch für die Plotausgabe!

Da der Berechnungsmodul intern die Druckgleichung verwendet, müssen einige Attribute in andere Größen umgerechnet werden:

- VORFluthöhen, EICHpotentiale und feste POTEntiale aus den Modelldateien und der instationären Eingabedatei werden auf Druckgrößen umgerechnet. Wenn an den entsprechenden Knoten eine Konzentration c ≠ 0 eingegeben ist (AKON), können zunächst die Startwerte (EICH, VORF, POTE in der Modelldatei) über den Menüpunkt *Attribute → Berechnen → Dichtekorrigierte Startpotentiale* mit den eingegebenen Parametern korrigiert werden.

Bei instationären Rechnungen besteht die Alternative, während der Zeitschritte die Wasserstände entsprechend der Dichteänderung zu korrigieren. Dazu ist im Eingabedialog der dichteabhängigen Berechnung bei "Randbedingungen" der Button "Druck" zu aktivieren. Sollen die Potentialhöhen während der instationären Rechnung nicht mit der Dichte korrigiert werden, können sie durch Aktivieren des Buttons "Potential" konstant gehalten werden.

- Sämtliche Mengenangaben der Modelldateien und instationären Eingabedatei (betrifft KNOT, FLAE, RAND/Q/X, EFLA) werden derzeit noch mit der Dichte ρ(c=0) von m³ auf kg(Lösung) umgerechnet. Dies ist besonders dann zu beachten, wenn eine Menge mit einer Einströmkonzentration $c_{in} > 0$ eingegeben werden soll. In diesem Fall ist die zur Umrechnung verwendete Dichte falsch (es müsste zur Umrechnung eigentlich die Dichte $\rho(c_{in})$ verwendet werden). Diese Ungenauigkeit kann umgangen werden durch eine Umrechnung der eigentlichen Menge (Q_{Start}) in den Eingabewert (Q_{korr}).

  $Q_{korr} = Q_{Start} * \rho(c)/\rho_0$

  mit:

  Q_{korr} [m³/ZE] = anhand der Dichteparameter korrigierte Mengeneingabe für KNOT, FLAE, RAND/Q/X, EFLA

  Q_{Start} [m³/ZE] = KNOT, FLAE, RAND/Q/X, EFLA an einem Knoten/Element mit vorgegebenem KONZ oder AKON

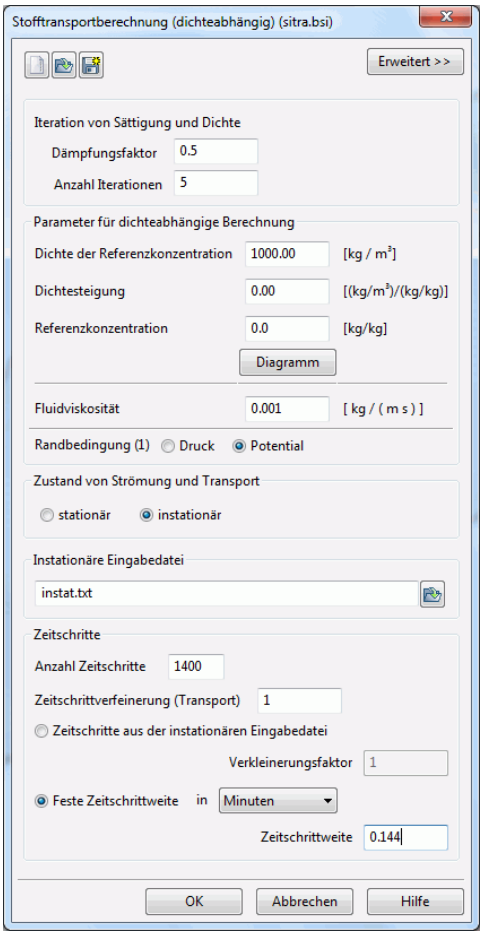
  ρ_0 [kg/m³] = Dichte der Referenzkonzentration bei $c_0 = 0$

  ρ [kg/m³] = bekannte/gewünschte Dichte $\rho(c = c_{max})$, c_{max} ist in der Regel die als KONZ oder AKON eingegebene Maximalkonzentration

- Die in den Modelldateien eingegebenen K-Werte werden in Permeabilitäten umgerechnet. Bei dieser Umrechnung wird immer die Dichte ρ(c=0) verwendet.

6.8.2 Eingabeparameter

Nach Auswahl im Menü von *Berechnung → Stofftransport (dichteabhängig)…*erscheint das folgende Eingabefenster:



Eine dichteabhängige Stofftransportberechnung ist nur mit dem Modul SITRA möglich. Beim Aufruf des Eingabefensters liest das Programm die Batch-Datei mit dem voreingestellten Namen *sitra.bsi* (sofern sie vorhanden ist) ein. Die Standardeinstellungen in der Maske werden ggf. entsprechend verändert

Neben den bereits bekannten Eingabeparametern „Zustand für Strömung und Transport“ und „Zeitschrittweiten“ (vgl. „Eingabeparameter Stofftransport“ auf S. **311**), werden bei der dichteabhängigen Stofftransportberechnung die Parameter für die Änderung der Dichte in Abhängigkeit der Stoffkonzentration im Fluid angegeben.

Iteration von Sättigung und Dichte

Hier werden die gewünschte Anzahl der Iterationsschritte und der Dämpfungsfaktor festgelegt.

Dichteparameter

Dichte $\boldsymbol{\rho_0}$ bei der Referenzkonzentration $\boldsymbol{c_0}$ in [kg/m³]: $\rho_0 = \rho(c = c_0)$, voreingestellt ist $\rho_0 = 1000$ kg/m³

Dichtesteigung $\boldsymbol{\alpha}$ = konstant, voreingestellt ist $\alpha = 0.0$

Referenzkonzentration $\boldsymbol{c_0}$ in [kg/kg], voreingestellt ist $c_0 = 0$ kg/kg

Das zugehörige Diagramm lässt sich darstellen und speichern.

In der Regel ist die Dichte der Referenzkonzentration $\rho_0(c_0 = 0)$ bekannt sowie die gewünschte Dichte $\rho(c = c_{max})$, c_{max} ist in der Regel die als 1KON oder AKON eingegebene Maximalkonzentration.
Damit lässt sich die im Dialog benötigte Dichtesteigung α durch Umstellen der linearen Dichtefunktion, die im Programmmodul SITRA programmiert ist, berechnen:

$\rho(c) = \rho_0 + \alpha(c - c_0)$

zu:

$\alpha = (\rho(c_{max}) - \rho_0) / (c_{max} - c_0)$, wenn für $c = c_{max}$ eingesetzt wird.

ρ_0 [kg/m³] = Dichte der Referenzkonzentration bei $c_0 = 0$

ρ [kg/m³] = bekannte/gewünschte Dichte $\rho(c = c_{max})$,

c_0 und c_{max} müssen für die Berechnung von α in der Einheit kg/kg eingegeben werden.

Zahlenbeispiel für SPRING:

Dichte des Salzwassers ρ(c) = 1021 kg/m³

Dichte des Süßwassers $\rho_0(c_0 = 0) = 997$ kg/m³

Salzkonzentration c = 35 kg/m³,

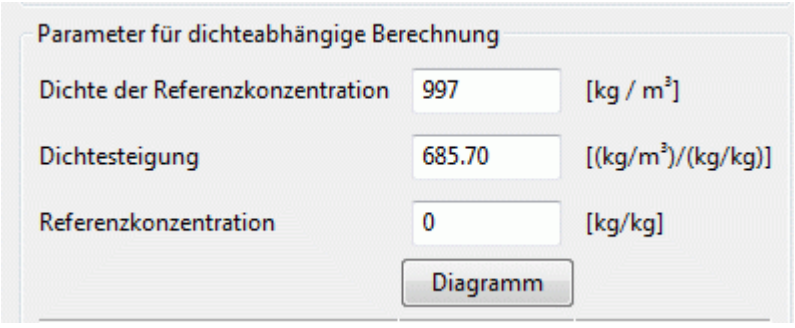
Die Salzkonzentration c [kg/m³] muss für die Berechnung in SPRING von der Einheit [kg/m³] in die Einheit [kg/kg] umgerechnet werden:

$c_{kg} = c / 1000$ [kg/kg]

Durch Einsetzen in die Formel erhält man:

α = (1021-997)/0,035 = 685,7 [(kg/m³)/(kg/kg)]

Diese Zahlen gehen folgendermaßen in den Eingabedialog ein:



Die zugehörige Dichtefunktion sieht so aus:

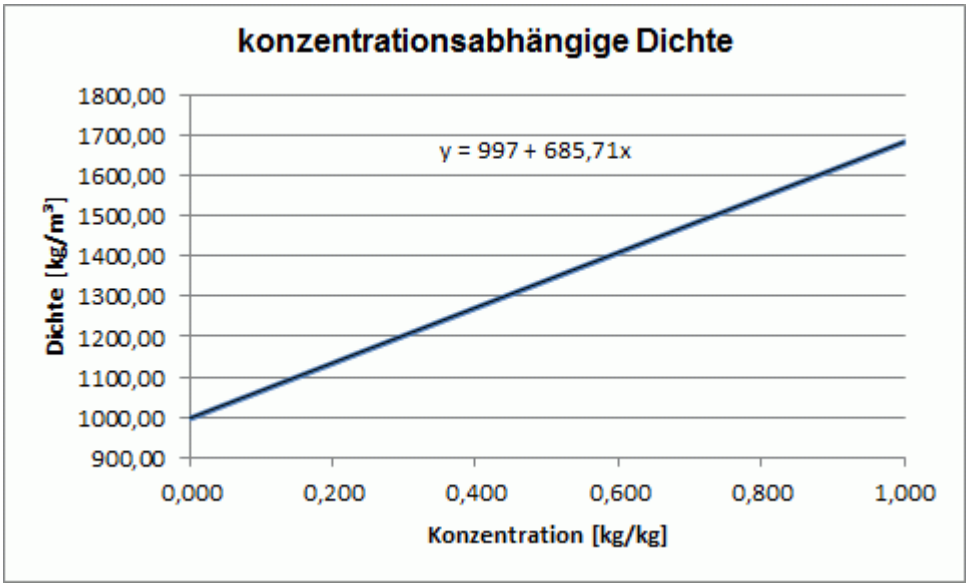


Abb. 213: Dichte in Abhängigkeit der Salzkonzentration in [kg/kg]

Diese Zahlen finden sich in der sitr-Datei in der 5.Zeile wieder.

4. Parameter der Zeile 5: $\rho_0(c_0)$ = 997.0 (kg/m³)

5. Parameter der Zeile 5: c_0 = 0.0 (kg/kg)

6. Parameter der Zeile 5: α = 685.70 (kg/kg)/(kg/m³)

Spezielle Dichtefunktion für Salz (Meerwasser)

Wenn der 5. und 6. Parameter der sitr-Datei auf -999.0 gesetzt wird, rechnet SITRA mit einer speziellen Dichtefunktion für Salz (T = 20°C):

$$\rho(c) = 998{,}5 * (1 + 0{,}000765 * c) = 998{,}5 + 0{,}7639 * c$$

mit:

ρ(c) = konzentrationsabhängige Dichte des Salzwassers [kg/m³]

Dichte bei der Referenzkonzentration (Süßwasser): $\rho_0 = \rho(T=20°, c_0=0) = 998{,}5$ [kg/m³]

Referenzkonzentration: $c = c_0 = 0$ [kg/m³]

Unabhängig von der Eingabe für ρ_0 wird mit ρ_0 = 998,5 kg/m³ gerechnet.

Allgemeine Dichtefunktion für Salz

Die konzentrationsabhängige Dichtefunktion für eine Salzlösung (Meerwasser) lautet im Allgemeinen:

$$\rho(T, c) = \rho(T, c = 0) * (1 + \alpha_s * c) = \rho_0 + \alpha * c$$

ρ(T, c=0) = ρ_0 = Dichte der Referenzkonzentration [kg/m³]

α_s: Der Faktor α_s ist abhängig vom Anteil und der Art gelöster Salze und beträgt für Meerwasser (s.o.) bei T = 20°C: α_s = 0,000765 [m³/kg]

c = Referenzkonzentration [kg/m³]

α = Dichtesteigung der Geraden, $\alpha = \alpha_s * \rho_0$ [-]

Fluidviskosität

Die Fluidviskosität (oder dynamische Viskosität) η (für Wasser: η(T=20°) = 0.001 [kg/(m s)]) wird benötigt, da in der dichteabhängigen Stofftransportberechnung die Druckgleichung verwendet wird.

Randbedingung

Während der dichteabhängigen Berechnung werden die eingegebenen Potentiale bzw. Wasserstände (EICH, VORF, POTE) intern in die Einheit Druck umgerechnet mit der bekannten Formel:

$p = (h - z) * \rho * g$ [N/m²]

mit:

p = Druck [N/m²]

h = Potentialhöhe [m]

z = Lagehöhe [m]

ρ = Dichte [kg/m³]

g = Erdbeschleunigung [m/s²]

Sollen die Wasserstände trotz einer Dichteänderung festgehalten werden, wird der Button "Potential" (default) aktiviert.

$p = (h - z) * \rho_0 * g$ [N/m²] mit $\rho_0 = \rho(c=c_0)$

Sollen die Wasserstände anhand der Dichteänderung korrigiert werden, ist der Button "Druck" zu aktivieren.

$p = (h - z) * \rho * g$ [N/m²] mit $\rho = \rho(c)$

Zustand der Strömung und des Transports

In der Wärmetransportberechnung gibt es nur die Möglichkeit, Strömung und Transport entweder stationär oder instationär zu berechnen.

Die Buttons im Kopf des Eingabefensters ermöglichen das Zurücksetzen der Eingabeparameter ( ), das Öffnen einer vorhandenen Batch-Datei ( ) oder das Speichern der aktuellen Batch-Datei unter einem anderen Namen ( ). Die Auswahl “Erweitert“ führt zu zusätzlichen Einstellungen.

6.8.3 Erweiterte Einstellungen

Durch Aktivieren der Schaltfläche „Erweitert“ lassen sich weitere Parameter festlegen. Bei der dichteabhängigen Stofftransportberechnung erscheinen folgende Eingabemöglichkeiten:

- Ausgabe
- Strömung
- Transport
- Adsorption (nur bei instationärer Berechnung)
- Produktion und Abbau (nur bei instationärer Berechnung)
- Halbwertszeit (nur bei instationärer Berechnung)

Da die Eingaben dieser Notebookseiten identisch zu denen sind, die bereits im Stofftransport beschrieben wurden, sei hier auf das Kapitel „Stofftransport – erweiterte Einstellungen“ auf S. **312** verwiesen.

6.8.4 Ergebnisse der dichteabhängigen instationären Stofftransportberechnung

Zwischenergebnisse

Als Zwischenergebnisse der dichteabhängigen instationären Stofftransportberechnung werden neben den „reinen strömungsrelevanten Daten“ (S. **299**) auch die temporären Konzentrationen sowie die Dichte an allen Knoten in der Ausgabedatei "out.s" und in den Hintergrunddateien abgespeichert.

Endergebnisse

Die Berechnung liefert am Ende des dichteabhängigen instationären Stofftransports neben den reinen strömungsrelevanten Daten auch die endgültigen Konzentrationen und die zugehörige Dichte an allen Knoten.

Wenn die Ergebniskonzentrationen als Startwerte für eine Folgerechnung benötigt werden, müssen die Ergebniskonzentration von der Einheit kg/m³ wieder auf kg/kg für die Anfangskonzentrationen (AKON) umgerechnet werden. Dies kann in SPRING mit drei einfachen Schritten durchgeführt werden:

- Zunächst werden die berechneten Konzentrationen über *Attribute → Modelldaten/Berechnungsergebnisse importieren* auf eine beliebige Kennung, z.B. CCCC eingelesen.
- Dann wird die zugehörige Dichte ebenfalls über *Attribute → Modelldaten/Berechnungsergebnisse importieren* auf eine beliebige Kennung, z.B. RRRR eingelesen.
- Im letzten Schritt wird das neue AKON berechnet über *Attribute → Berechnen → Attribute verrechnen*: Konzentrationen CCCC / Dichte RRRR = AKON (kg/kg)

6.8.5 Batchdatei dichteabhängiger Strömung

Der Aufruf der dichteabhängigen Stofftransportberechnung kann auch direkt ohne die Eingabemaske über die Kommandozeile erfolgen, sofern eine geeignete Batch-Datei **.bsi* und *sitr* Datei für das Modul SITRA im Verzeichnis vorhanden ist. In der Eingabe der Kommandozeile wird in das Verzeichnis gewechselt, in dem die Berechnung ausgeführt werden soll. Die Eingabe von sitra und dem Bestätigen mit der Enter-Taste führt dazu, dass eine Berechnung mit dem Modul SITRA gestartet wird. Der voreingestellte Batch-Datei-Name für das Modul SITRA ist *sitra.bsi*. Diese Datei wird im Verzeichnis gesucht. Mit dem Aufruf sitra Dateiname kann aber auch eine andere Batch-Datei angegeben werden (die Erweiterung "*.bsi*" wird bei Bedarf automatisch angehängt). Die Batch-Datei kann von Hand mit einem beliebigen Editor erstellt oder verändert werden.

Eine ausführliche Batchdatei kann in der Online-Hilfe eingesehen werden. Ebenso wird dort eine Batchdatei der dichteabhängigen Strömungsberechnung zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung gestellt.

6.9 Wärmetransport

Aufruf durch: *SPRING → Berechnung → Wärmetransport…*

Analog zur Ausbreitung gelöster Stoffe (Stofftransport) in einem porösen Medium wird auch der Wärmetransport (Energieausbreitung) durch die Vorgänge der Advektion, Diffusion und Dispersion beeinflusst. Allerdings spricht man beim Wärmetransport von Konvektion statt Advektion und von Wärmeleitung statt Diffusion.

Im Gegensatz zum reinen Stofftransport erfolgen Energiespeicherung und Energietransport sowohl in den Poren als auch in der Feststoffmatrix selbst. Außerdem ist eine Wärmetransportberechnung immer auch eine dichteabhängige Berechnung, weil die Dichte des Fluids und der Feststoffmatrix von der Temperatur abhängig ist.

Die Komponenten des Stofftransports (S. **301**) wurden bereits im gleich lautenden Kapitel ausführlich beschrieben und werden an dieser Stelle in Kurzform für die energiespezifischen Prozesse aufgeführt.

6.9.1 Konvektion

Der konvektive Wärmetransport beschreibt die durch die Grundwasserbewegung selbst transportierte Wärmeenergie. Somit ist der konvektive Wärmefluss j_k die Wärmeenergie, die über eine betrachtete Querschnittsfläche A quer zur Strömungsrichtung pro Zeiteinheit transportiert wird. Unter Berücksichtigung der Abstandsgeschwindigkeit v lässt sich der konvektive Wärmefluss folgendermaßen beschreiben:

$$j_k = c_w * \rho_w * A * v * T$$

mit:

j_k = konvektiver Wärmestrom [W]

c_w = spezifische Wärmekapazität des Fluids [Ws/(kg K) = J/(kg K)]

ρ_w = Dichte des Fluids [kg/m³]

A = Durchflussquerschnitt [m²]

v = Abstandsgeschwindigkeit [m/s]

T = Temperatur [K]

6.9.2 Wärmeleitung

Der Wärmefluss aufgrund von Wärmeleitfähigkeiten sowohl des Fluids $j_{m,w}$ als auch der Matrix $j_{m,s}$ wird durch das Fouriersche Gesetz (1822) beschrieben:

$$j_{m,w} = -\lambda_w * A * \nabla T \quad \text{und} \quad j_{m,s} = -\lambda_s * A * \nabla T$$

Mit:

$j_{m,w}$ = Wärmefluss im Fluid [W]

$j_{m,s}$ = Wärmefluss in der Matrix [W]

λ_w = Wärmeleitfähigkeit des Fluids [W/(m K)]

λ_s = Wärmeleitfähigkeit der Matrix [W/(m K)]

A = Durchflussquerschnitt [m²]

∇T = Temperaturgradient [K/m]

Dieser Anteil des Energieflusses ist unabhängig von der Bewegung des Wassers. Analog zum Gesetz von Darcy resultiert das negative Vorzeichen daraus, dass der Energiefluss von hohen zu niedrigen Temperaturen verläuft und der Temperaturgradient entgegengesetzt ist.

6.9.3 Hydromechanische Dispersion

Die hydromechanische Dispersion beschreibt die Verteilung bzw. die Vermischung der Wärme im bewegten Porenwasser. Der Wärmefluss durch Dispersion wird in Anlehnung an die Wärmeleitung ebenfalls mit dem Fourierschen Gesetz beschrieben:

$$j_{disp} = -D_d * A * c_w * \rho_w * \nabla T$$

Mit:

j_{disp} = Wärmefluss durch Dispersion [W]

D_d = symmetrischer Dispersionstensor [m²/s]

A = Durchflussquerschnitt [m²]

c_w = spezifische Wärmekapazität des Fluids [Ws/(kg K) = J/(kg K)]

ρ_w = Dichte des Fluids [kg/m³]

∇T = Temperaturgradient [K/m]

6.9.4 Energietransportgleichung

Das Gesetz der Energieerhaltung lässt sich mit Hilfe der beiden Größen

c_w = spezifische Wärmekapazität des Fluids [J/(kg K)]

c_s = spezifische Wärmekapazität der Matrix [J/(kg K)]

unter Berücksichtigung des Porenraums n wie folgt mathematisch formulieren:

$$\frac{\partial(n\rho_w S_r c_w T)}{\partial t} + \frac{\partial((1-n)\rho_s c_s T)}{\partial t} + \nabla(n\rho_w S_r c_w(j_k + j_{diff,w} + j_{disp})) + \ldots$$

$$\ldots + ((1-n)\rho_s c_s j_{diff,s}) = q c_w \rho_w T^*$$

Hierbei stellt die rechte Seite der Gleichung die Summe aller Energiequellen- und –senken und T* die Temperatur zu- und abfließender Mengen dar.

In diese Gleichung werden die Wärmeflüsse für Konvektion, Dispersion und Wärmeleitung eingesetzt. Unter Anwendung der Produktregel für den Konvektionsterm und der Kontinuitätsbedingung (vgl. Stofftransport):

$$\nabla(nv) = q$$

ergibt sich die instationäre Energietransportgleichung zu:

$$(nS_r\rho_w c_w)\frac{\partial T}{\partial t} + ((1-n)\rho_s c_s)\frac{\partial T}{\partial t} + (nS_r\rho_w c_w)v\nabla T - \nabla(nS_r\rho_w c_w(\sigma_w I + D_d)\nabla T) - \ldots$$

$$\ldots - \nabla((1-n)\rho_s c_s \sigma_s I \nabla T) = q\rho_w c_w T^*$$

Dabei werden die Wärmediffusionsparameter σ_w [m²/s] und σ_s [m²/s] durch

$$\sigma_w = \lambda_w / (\rho_w c_w) \quad \text{und} \quad \sigma_s = \lambda_s / (\rho_s c_s)$$

definiert.

mit:

$\rho_{w,s}$ = Dichte des Fluids (w) oder der Matrix (s) [kg/m³]

$c_{w,s}$ = spezifische Wärmekapazität [Ws /(kg K)]

$\lambda_{w,s}$ = Wärmeleitfähigkeit [W / (m K)]

$\sigma_{w,s}$ = Diffusionsparameter = $\lambda_{w,s}$ / ($\rho_{w,s}$ $c_{w,s}$) = [m²/s]

I = Einheitsmatrix [-]

D = Dispersionstensor [m²/s]

Sr = Sättigungsgrad [-]

n = durchflusswirksamer Porenraum [-]

v = Abstandsgeschwindigkeit [m/s]

q = div v (aus Kontinuitätsbedingung) [1/s]

T = Temperatur [K]

$\nabla \mathbf{T}$ = Temperaturgradient [K/m]

T* = veränderlicher Temperaturzu-/abfluss [K]

Die Energietransportgleichung hat ebenso wie die Wärmeproduktionsrate (QKON) die Einheit [W/m³] = [J/(m³s)].

6.9.5 Rand- und Anfangsbedingungen

Die Energietransportgleichung wird ergänzt durch Randbedingungen:

- Randbedingung 1. Art: Vorgabe von festen Temperaturen (Attribut 1KON):

  $$\mathbf{T} = \mathbf{T}^*$$

- Randbedingung 2. Art: Vorgabe eines diffusiv-dispersiven Wärmestroms auf dem Rand. Die nahezu ausschließliche praktische Anwendung besteht jedoch darin, den Rand für die Diffusion-Dispersion undurchlässig zu machen, so dass gilt:

  $$-(\mathbf{D}\nabla\mathbf{T})\mathbf{N} = j = 0$$

  (N bezeichnet die nach außen weisende Normale zum Modellrand).

Das Gleichungssytem ist nur lösbar, wenn an mindestens einem Knoten eine Randbedingung 1. Art definiert ist.

Für eine instationäre Energietransportgleichung müssen im gesamten Modellgebiet Anfangsbedingungen für den Startzeitpunkt vorgegeben werden:

- Anfangsbedingung: Anfangstemperatur für den Startzeitpunkt t_0 der instationären Rechnung (Attribut AKON):

  $$\mathbf{T}(t_0) = \mathbf{T}_0^*$$

6.9.6 Temperaturabhängige Parameter der Strömungsgleichung

Viskosität

Die Viskosität ist eine Eigenschaft, die auf die innere Reibung der Flüssigkeit zurückzuführen ist. Die Einheit der Viskosität ist [kg/m s)] oder Pascal-Sekunde [Pa s].

Die dynamische Fluidviskosität η [kg/(m s)] und bei großen Temperaturgradienten die Dichte ρ [kg/m³] sind temperaturabhängige Größen, deren Veränderung mit der Temperatur zur Folge hat, dass die Differentialgleichungen (die instationäre Strömungs- und die Energietransportgleichung) ein gekoppeltes Differentialgleichungssystem darstellen! Eine experimentelle Formel zur Beschreibung der Beziehung zwischen dynamischer Fluidviskosität und Temperatur wird in der Berechnung verwendet:

$$\eta = \eta(\mathbf{T}) = (239{,}4 * 10^{-7}) * 10^{\frac{248{,}7}{\mathbf{T}+133{,}15}}$$

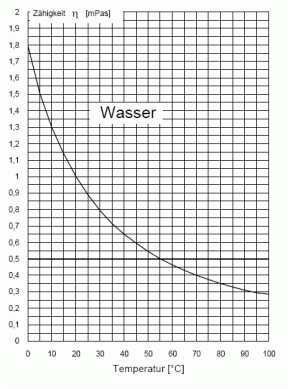


Abb. 214: Dynamische Viskosität η des Wassers in Abhängigkeit der Temperatur bei einer Dichte von ρ= 1000.0 [kg/m³]

Die Einheit Millipascalsekunde [mPa s] entspricht der Einheit 1000*[kg/(m s)].

Es gilt folgende Beziehung zwischen dynamischer und kinematischer Viskosität:

Dynamische Viskosität: $\eta = \mu * \rho$ [kg/(m s)]
kinematische Viskosität: $\mu = \eta / \rho$ [m²/s]

mit:
η = dynamische Viskosität [kg/(m s)]
μ = kinematische Viskosität [m²/s]
ρ = Dichte [kg/m³]

Temperaturabhängige Dichte

In SPRING wird eine lineare Abhängigkeit der Dichte [kg/m³] von der Temperatur T [°C] berücksichtigt:

$$\rho(T) = \rho_0 + \alpha(T - T_0)$$

Mit:
ρ(T) = temperaturabhängige Dichte [kg/m³]
ρ_0 = Dichte der Referenztemperatur $\mathbf{T_0}$ in [kg/m³], voreingestellt ist ρ_0 = 1000.0 [kg/m³]: $\rho_0 = \rho(T = T_0)$
$\mathbf{T_0}$ = Referenztemperatur [°C], voreingestellt ist $\mathbf{T_0}$ = 20°C
α = konstante Dichtesteigung, voreingestellt ist **α** = 0.0

Die folgende Abbildung zeigt die Abhängigkeit der Dichte von der Temperatur:

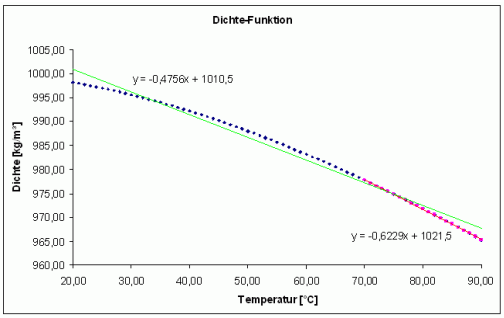


Abb. 215: Temperaturabhängige Dichtefunktion

In diesem Fall ist:
$\rho_0 = \rho(T_0$=20 °C) = 1010,5 [kg/m³]
Die Dichtefunktion wird in dem zu betrachtenden Temperaturintervall (hier: ca. 32 - 75 °C) durch eine Geradengleichung (grüne Linie) angenähert, durch welche die Dichtesteigung α definiert wird.

Im Beispiel ist die Dichtesteigung α = konstant = -0,4756. (Dies entspricht der Steigung (= 1. Ableitung) der Geraden: $\alpha = \frac{\partial \rho}{\partial T} = \mathbf{const.}$

Liegen die Ausgangs- bzw. berechneten Temperaturen in einem anderen Temperaturbereich, so ist ggf. eine andere Ausgleichsgerade zu definieren (rote Linie).

6.9.7 Umsetzung in SPRING

Alle Modelldatenarten in den Modelldateien und der instationären Eingabedatei, die für die Stofftransportrechnung beschrieben sind, sind bei einer Wärmetransportrechnung als Temperaturdaten zu verstehen:

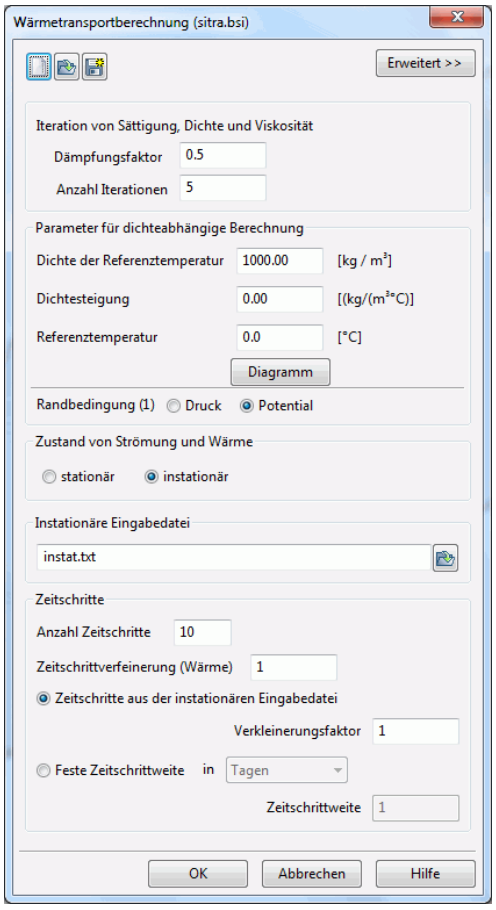
Datenart	Bedeutung beim Stofftransport	Bedeutung beim Energietransport (Wärme)
KONZ	Konzentration zufließender Mengen	Temperatur zufließender Mengen
1KON	feste Stoffkonzentrationen	feste Temperaturen (RB 1. Art)

	(RB 1. Art)	
AKON	Anfangskonzentrationen	Anfangstemperaturen
QKON	-	Wärmeproduktionsrate

Genauso sind die Ergebnisse der Wärmetransportberechnung, die in den Ausgabedateien und den Auswertungsmodulen (Ploterstellung, Export von Daten...) mit "Konzentrationen" benannt werden, die berechneten Temperaturen.

6.9.8 Eingabeparameter

Nach Auswahl im Menü von *Berechnung* → *Wärmetransport* erscheint das folgende Eingabefenster:



Eine Wärmetransportberechnung ist nur mit dem Modul SITRA möglich. Beim Aufruf des Eingabefensters liest das Programm die Batch-Datei mit dem voreingestellten Namen *sitra.bsi* (sofern sie vorhanden ist) ein. .Die Standardeinstellungen in der Maske werden ggf. entsprechend verändert.

Neben den bereits bekannten Eingabeparametern für die Strömung und die Zeitschrittweiten (vgl. „Eingabeparameter Stofftransport“, S. **311**), werden bei der Wärmetransportberechnung die Parameter für die Änderung der Dichte in Abhängigkeit der Temperaturen im Fluid angegeben.

Iteration von Sättigung, Dichte und Viskosität

Hier werden die Anzahl der Iterationsschritte und der Dämpfungsfaktor eingegeben.

Dichteparameter

Dichte ρ_0 bei der Referenztemperatur T_0 in [kg/m³]: $\rho_0 = \rho(T = T_0)$

Dichtesteigung α = konstant, voreingestellt ist α = 0.0

Referenztemperatur T_0 in [°C]

Das zugehörige Diagramm lässt sich darstellen und speichern:

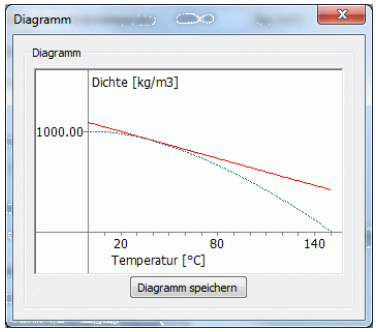


Abb. 216: Dichte in Abhängigkeit der Temperatur

Randbedingung

Während der temperaturabhängigen Berechnung werden die eingegebenen Potentiale bzw. Wasserstände (EICH, VORF, POTE) intern in die Einheit Druck umgerechnet mit der bekannten Formel:

$p = (h - z) * \rho * g$ [N/m²]

mit:

p = Druck [N/m²]

h = Potentialhöhe [m]

z = Lagehöhe [m]

ρ = Dichte [kg/m³]

g = Erdbeschleunigung [m/s²]

Sollen die Wasserstände trotz einer Dichteänderung festgehalten werden, wird der Button "Potential" (default) aktiviert.

$p = (h - z) * \rho_0 * g$ [N/m²] mit $\rho_0 = \rho(T=T_0)$

Sollen die Wasserstände anhand der Dichteänderung korrigiert werden, ist der Button "Druck" zu aktivieren.

$p = (h - z) * \rho * g$ [N/m²] mit $\rho = \rho(T)$

Zustand der Strömung und des Transports

In der Wärmetransportberechnung gibt es nur die Möglichkeit, Strömung **und** Transport entweder stationär oder instationär zu berechnen.

Die Buttons im Kopf des Eingabefensters ermöglichen das Zurücksetzen der Eingabeparameter ( ), das Öffnen einer vorhandenen Batch-Datei ( ) oder das Speichern der aktuellen Batch-Datei unter einem anderen Namen ( ). Die Buttons am unteren Rand des Eingabefensters starten die Berechnung (*OK-Button*), schließen den Dialog (*Abbrechen*) oder öffnen die digitale Hilfe (*Hilfe-Button*).

Die Auswahl “Erweitert“ führt zu zusätzlichen Einstellungen.

6.9.9 Erweiterte Einstellungen

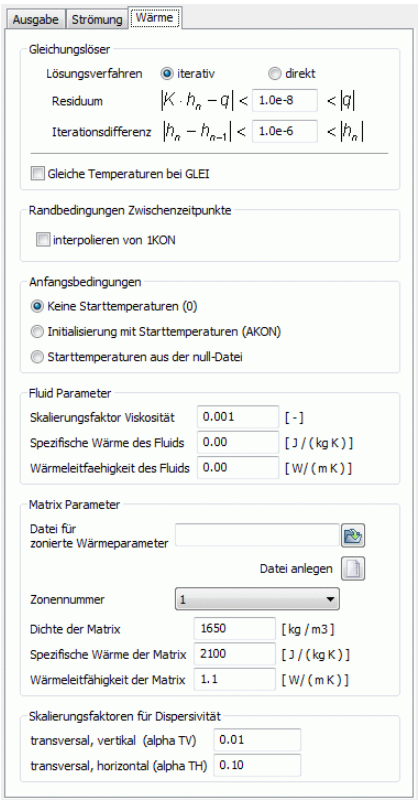
Durch Aktivieren der Schaltfläche „Erweitert“ lassen sich weitere Parameter festlegen. Bei der instationären Wärmetransportberechnung erscheinen folgende Eingabemöglichkeiten für die:

- Ausgabe
- Strömung
- Wärme

Da die Eingaben der Notebookseiten „Ausgabe“ und „Strömung“ identisch zu denen sind, die bereits im Stofftransport beschrieben wurden, sei hier auf das Kapitel „Stofftransport – erweiterte Einstellungen“ auf S. 312 verwiesen.

6.9.9.1 Wärme

Nach Aufruf des Dialogfensters „Wärme“ erscheint das folgende Eingabefenster für die Wärmeparameter.



Gleichungslöser

Als Gleichungslöser kann entweder der iterative PCG-Löser oder der direkte Cholesky-Gleichungslöser gewählt werden. Wegen seiner Rechenzeit- und Speicherplatzvorteile empfiehlt sich ab ca. 500 Knoten der iterative Gleichungslöser. Im Gegensatz zum direkten Verfahren wird die Lösung zwar nicht exakt berechnet; der Fehler ist aber in der Regel vernachlässigbar gering. Eine Genauigkeitsprüfung kann anhand der in der Ausgabedatei angegebenen Massenbilanz erfolgen.

Gleiche Temperaturen

Hier wird festgelegt, ob an Knoten mit dem Attribut GLEI auch gleiche Temperaturen berechnet werden sollen.

Randbedingungen Zwischenzeitpunkte

Wird mit einer festen Zeitschrittweite oder mit verkleinerten Zeitschritten der instationären Eingabedatei gerechnet, ist es möglich, für die Zwischenzeitschritte, die nicht in der instationären Eingabedatei festgelegt sind, die instationären Randbedingungen für die Temperaturen zu interpolieren! Im Prinzip gelten die gleichen Ausführungen, die schon bei der instationären Strömungsberechnung auf S. **293** beschrieben wurden.

Anfangsbedingungen

Hier wird festgelegt, mit welchen Anfangstemperaturen die instationäre Wärmetransportberechnung gestartet wird.

- Keine Starttemperaturen: Die Iteration wird mit Anfangstemperaturen = 0.0 gestartet (nicht empfehlenswert!)
- Verwendung der Anfangstemperaturen: Hierbei werden die in der Modelldatei über AKON festgelegten Anfangstemperaturen verwendet.
- Wurde bereits eine instationäre Berechnung durchgeführt, kann diese mit den in der null-Datei gespeicherten Ergebnistemperaturen weitergeführt werden. Dies wird bei der Wahl der Ausgabe-Parameter festgelegt (Abspeichern für Fortsetzen der Iteration (out66)).

Fluidparameter

Der Skalierungsfaktor Viskosität (η_0) skaliert die bei der Berechnung zugrunde liegende Formel für die dynamische Viskosität in Abhängigkeit der Modellart:

$$\eta = \eta(T) = (239{,}4 * 10^{-7}) * 10^{\frac{248{,}7}{T+133{,}15}}$$

durch:

$$\eta = \eta_0 * \eta(T)$$

Bei Vertikal- oder 3D-Modell ist η_0 = 1.0 [-] einzugeben (voreingestellt), da in der Berechnung dieser Modellarten die Druckgleichung verwendet wird.

Bei Horizontalmodellen ist η_0 = 1000.0 [-] einzugeben, da in der Berechnung dieser Modellart die Potentialgleichung verwendet wird.

Die spezifische Wärmekapazität des Fluids ist in [J/(kg K)] einzugeben.

Die Wärmeleitfähigkeit des Fluids ist in [W/(m K)] einzugeben.

Matrixparameter

Wenn das Zonierungs-Attribut Z-KD in der Modelldatei vorhanden ist, kann hier die zugehörige Datei mit den zonierten Daten (S. **38**) für die Matrixparameter gewählt werden.

Die Dichte der Matrix ist in [kg/m³] einzugeben.

Die spezifische Wärmekapazität der Matrix ist in [J/(kg K)] einzugeben.

Die Wärmeleitfähigkeit der Matrix ist in [W/(m K)] einzugeben.

Das Anlegen einer neuen Zonierungsdatei ist im Kapitel "Aufbau der Zonierungsdateien" auf S. 38 erläutert.

Für den oben dargestellten Dialog ergibt sich folgender Eintrag in der Datei mit den zonierten Wärmeparametern:

```
Zonennummer spez. Wärme der Matrix Wärmeleitfähigkeit der Matrix Dichte der Matrix
      1      2100       1.1      1650     #Zonennummer CS SIGMAS RHOS
```

Dispersivitäten

Festlegen der Skalierungsfaktoren für die transversal-horizontalen (α_{TH}) und transversal-vertikalen (α_{TV}) Dispersivitäten [m].

Die Skalierung bezieht sich auf die longitudinale Dispersivität, die in der Modelldatei durch das Attribut DISP festgelegt ist.

6.9.10 Ergebnisse der instationären Wärmetransportberechnung

Zwischenergebnisse

Als Zwischenergebnisse der instationären Wärmetransportberechnung werden neben den reinen strömungsrelevanten Daten (S. **299**) auch die temporären Temperaturen an allen Knoten in der Ausgabedatei "out.s" und in den Hintergrunddateien abgespeichert.

Endergebnisse

Die Berechnung liefert am Ende des instationären Wärmetransports neben den reinen strömungsrelevanten Daten auch die endgültigen Temperaturen an allen Knoten.

6.9.11 Batch-Datei der instationären Wärmetransportberechnung

Der Aufruf der Wärmetransportberechnung kann auch direkt ohne die Eingabemaske über die Kommandozeile erfolgen, sofern eine geeignete Batch-Datei **.bsi* und *sitr* Datei für das Modul SITRA im Verzeichnis vorhanden ist. In der Eingabe der Kommandozeile wird in das Verzeichnis gewechselt, in dem die Berechnung ausgeführt werden soll. Die Eingabe von sitra und dem Bestätigen mit der Enter-Taste führt dazu, dass eine Berechnung mit dem Modul SITRA gestartet wird. Der voreingestellte Batch-Datei-Name für das Modul SITRA ist *sitra.bsi*. Diese Datei wird im Verzeichnis gesucht. Mit dem Aufruf sitra Dateiname kann aber auch eine andere Batch-Datei angegeben werden (die Erweiterung "*.bsi*" wird bei Bedarf automatisch angehängt). Die Batch-Dateien können von Hand mit einem beliebigen Editor erstellt oder verändert werden.

Eine ausführliche Batchdatei kann in der Online-Hilfe eingesehen werden. Ebenso wird dort eine Batchdatei der Wärmetransportberechnung zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung gestellt.

6.10 Transport mit invertierter Strömung

Aufruf durch: *SPRING → Berechnung → Transport mit invertierter Strömung*

Es ist möglich, Einzugsgebiete unter Berücksichtigung von Advektions- und Dispersions-/ Diffusionsprozessen darzustellen. Somit können auch lokale Heterogenitäten über den Dispersionsterm abgebildet werden, die über die herkömmlichen Methoden der Geschwindigkeitsverfolgung nicht bzw. nur beschränkt ermittelbar sind.

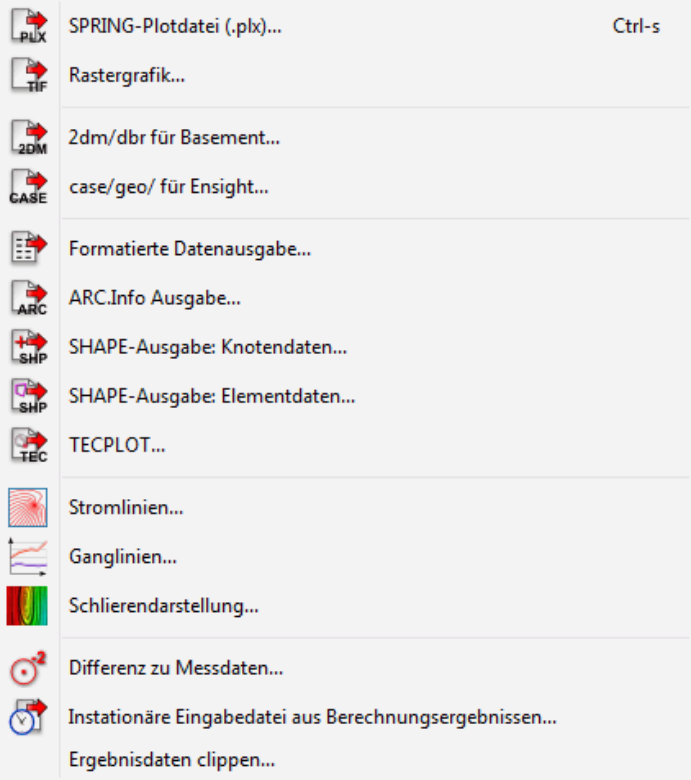
Das Vorgehen und die Grundlagen sind im Kapitel „How To – Ermittlung von Einzugsgebieten“ auf S. **403** beschrieben.

Die Eingabeparameter entsprechen denen des Stofftransports und sind dort eingehend beschrieben.

7 Datenexport

Die Eingabe- bzw. berechneten Daten des Grundwassermodells (Dateiformate von SPRING) können für die Ergebnisdarstellung bzw. für den Import in andere Software in verschiedene Dateiformate exportiert werden.

Der Datenexport ist auf verschiedene Arten unter *Datei → Exportieren* möglich:

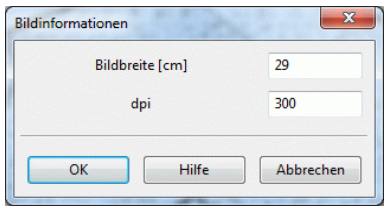


Die ersten vier Menüpunkte geben die Möglichkeit

- die aktuelle Darstellung als SPRING-Plotdatei (*.*plx*)
- die aktuelle Darstellung als georeferenzierte Rasterdatei (*.tif, *jpg, *.bmp, *png)
- das Netz im 2dm/dbr-Format
- das Netz im case/geo-Format für Ensight (nur 2D-Modell)

zu speichern. Dazu ist die Eingabe eines Dateinamens und eines Speicherortes erforderlich.

Beim Speichern der aktuellen Darstellung als georeferenzierte Rastergrafik werden anschließend in dem sich öffnenden Eingabefenster die Bildbreite und die dpi Anzahl festgelegt.



Für die weiteren Menüpunkte wird das Modul NACHLAUF (Nachbearbeitungsmodul von SPRING) verwendet. Die verschiedenen Exportmöglichkeiten benötigen zusätzliche Eingaben und werden in den folgenden Kapiteln im Einzelnen behandelt.

7.1 Formatierte Datenausgabe

Aufruf über Auswahl im Menü von *Datei → Exportieren → Formatierte Datenausgabe*

Die meisten der Modell- und Ergebnisdaten können in weitgehend frei definierbarem Format in eine ASCII-Datei geschrieben werden, um sie zum Beispiel mit einem Tabellenkalkulationsprogramm zu bearbeiten.

7.1.1 Eingabeparameter

Es erscheint folgendes Eingabefenster in einem 3D-Modell:

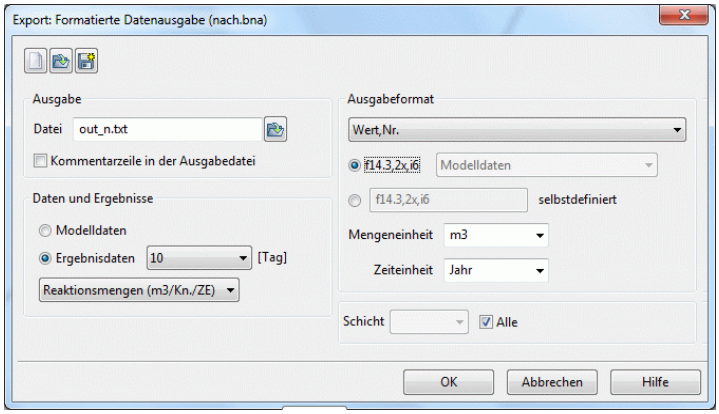


Abb. 217: Eingabe für die formatierte Datenausgabe

Ausgabe

Hier wird der Name der Ausgabedatei bestimmt und gewählt, ob die Ausgabedatei eine Kommentarzeile enthalten soll. Eine Datei ohne Kommentarzeile kann in SPRING direkt als „*.txt“-Datei überlagert werden.

Daten und Ergebnisse

Bei Wahl von „Ergebnisdaten“ ist nach einer instationären Berechnung ein weiteres Kontrollfenster sichtbar, in dem der gewünschte Zeitschritt gewählt werden kann.

Ausgabeformat

Es kann zwischen vier Ausgabeformaten gewählt werden. Dabei bedeutet

- Nr.: Knoten- bzw. Elementnummer
- X: Rechtswert/X-Koordinate
- Y: Hochwert/Y-Koordinate
- Wert: eingegebener bzw. berechneter Wert für den jeweiligen Knoten / das jeweilige Element

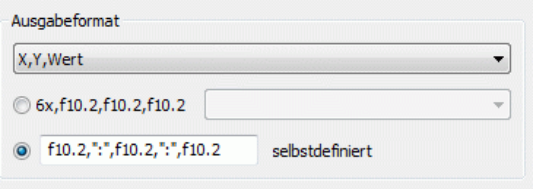
Durch Wahl eines Ausgabeformats, z.B. „*Wert, Nr.*“ erscheint zunächst voreingestellt ein SPRING-spezifisches Format, hier: *Format der Modelldatei*. Dieses kann durch ein selbst definiertes Format ersetzt werden. Das selbstdefinierte Format muss jedoch dem übergeordneten entsprechen: Ist das übergeordnete Format „Wert, Nr.“ muss auch das selbstdefinierte Format die Reihenfolge „Gleitkommazahl, Integer“ besitzen, die Stellenanzahl oder der Formatschreiber kann jedoch frei gewählt werden. Als Formate sind zulässig:

- F oder f
- x oder X
- I oder i
- E oder e

Beispiel:

- F14.3: Gleitkommazahl mit insgesamt 14 Stellen, davon drei Nachkommastellen
- 2x: zwei Leerzeichen
- I6: sechsstellige Integerzahl

Soll als Spaltentrenner statt eines Kommas ein anderes Zeichen verwendet werden, kann dies folgendermaßen definiert werden:



Anmerkung: Falls in der Ausgabedatei „Sternchen“ (*) statt Zahlen erscheinen, stimmt der Formatschreiber nicht mit den tatsächlich vorhandenen Stellen überein.

Beispiel:

Für den Knoten 123 soll ein Wert von -1000000 m³/s (Attribut KNOT) im Format der instationären Eingabedatei (Nr. im Format I6, Wert im Format F10.2) geschrieben werden. Mit Dezimalpunkt und zwei Nachkommastellen ergibt sich für den Wert eine Gesamtstellenzahl von 11 (-1000000.00).

→ D.h. es erscheinen in der Ausgabedatei Sternchen, weil das eingegebene Ausgabeformat nur insgesamt 10 Stellen erlaubt! Dieses Problem lässt sich durch Eingabe eines selbstdefinierten Formats „I6, E10.2“ lösen. Hiermit wird ein lesbarer Wert in die Ausgabedatei geschrieben.

Mengeneinheit

Bei Wahl einer mengenbezogenen (Modell- oder Ergebnis-) Datenart (z.B. Reaktionsmengen oder Neubildungsraten) erscheint beim Ausgabeformat ein weiteres Kontrollfenster, wo die gewünschte Einheit Menge/Zeit festgelegt wird.

Schicht (nur 3D-Modell)

Handelt es sich bei dem Projekt um ein 3D-Modell, kann hier zusätzlich die entsprechende Schicht oder alle Schichten ausgewählt werden.

Die Buttons im Kopf des Eingabefensters ermöglichen das Zurücksetzen der Eingabeparameter ( ), das Öffnen einer vorhandenen Batch-Datei ( ) oder das Speichern der aktuellen Batch-Datei unter einem anderen Namen ( ).

7.1.2 Batchdatei formatierte Datenausgabe

Der Aufruf der formatierten Datenausgabe kann auch direkt ohne die Eingabemaske über die Kommandozeile erfolgen, sofern eine geeignete Batch-Datei **.bna* im Verzeichnis vorhanden ist. Hierzu wird in das Verzeichnis gewechselt, in dem die Berechnung ausgeführt werden soll. Die Eingabe von *nachlauf* und dem Bestätigen mit der Enter-Taste führt dazu, dass eine Berechnung mit dem Modul NACHLAUF gestartet wird. Der voreingestellte Batch-Datei-Name ist *nach.bna*. Diese Datei wird im Verzeichnis gesucht. Mit dem Aufruf *nachlauf Dateiname* kann aber auch eine andere Batch-Datei angegeben werden (die Erweiterung ".bna" wird bei Bedarf automatisch angehängt). Die Batch-Dateien können von Hand mit einem beliebigen Editor erstellt oder verändert werden.

Eine ausführliche Batchdatei kann in der Online-Hilfe eingesehen werden. Ebenso wird dort eine Batchdatei der formatierten Datenausgabe zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung gestellt.

7.2 Datenausgabe für ArcInfo

Aufruf über Auswahl im Menü von *Datei → Exportieren → ARCInfo Ausgabe*

Die meisten der Modell- und Ergebnisdaten können während des Datenexports so in ASCII-Dateien geschrieben werden, dass ein Einlesen in das Geoinformationssystem ArcInfo möglich ist. Dabei werden die Daten mit allen Informationen exportiert, die notwendig sind, um bei der Weiterverarbeitung in ArcInfo (Isoliniendarstellung, Verschneiden mit anderen Daten im GIS, ...) nicht zu einer falschen Interpretation führen (z. B. 'Verschmieren durch Interpolation').

7.2.1 Eingabeparameter

Es erscheint folgendes Eingabefenster:

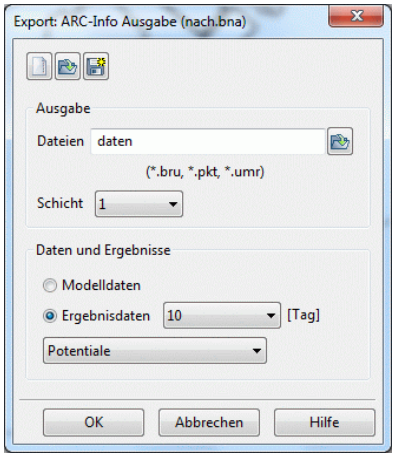


Abb. 218: Eingabe für die ARCInfo Datenausgabe

Ausgabe

Hier wird der Name der Ausgabedatei bestimmt, an den die ArcInfo-spezifischen Endungen angehängt werden. Bei einem 3D-Modell kann außerdem die Schichtnummer für die zu exportierenden Daten angegeben werden.

Daten und Ergebnisse

Bei Wahl von „Ergebnisdaten“ erscheint nach einer instationären Berechnung ein weiteres Kontrollfenster, in dem der gewünschte Zeitschritt gewählt werden kann.

Sind die zu exportierenden Daten **Knoten**daten, werden drei Ausgabedateien erzeugt:

Datei	**Inhalt**
<name>.**bru**	Elementkanten mit Werten der Knotendatenart an den Eckknoten der Elemente
<name>.**pkt**	Elementmittelpunkte mit Werten der Knotendatenart
<name>.**umr**	Netzrandpolygone (äußere und evtl. vorhandene innere Ränder) mit Werten der Knotendatenart an den Eckknoten der Polygone

Sind die zu exportierenden Daten **Element**daten, werden vier Ausgabedateien erzeugt:

Datei	**Inhalt**
<name>.**bru**	Elementkanten *ohne* Daten (Ausgabedatei für alle Elementdatenarten identisch!)
<name>.**pkt**	Elementmittelpunkte mit Elementnummern *ohne* Daten (Ausgabedatei für alle Elementdatenarten identisch!)
<name>.**umr**	Netzrandpolygone (äußere und evtl. vorhandene innere Ränder) *ohne* Daten (Ausgabedatei für alle Elementdatenarten identisch!)
<name>.**tab**	tabellarische Datei mit den Elementnummern und Elementdaten

Die Buttons im Kopf des Eingabefensters ermöglichen das Zurücksetzen der Eingabeparameter ( ), das Öffnen einer vorhandenen Batch-Datei ( ) oder das Speichern der aktuellen Batch-Datei unter einem anderen Namen ( ). Die Buttons am unteren Rand des Eingabefensters starten die Berechnung (*OK-Button*), schließen den Dialog (*Abbrechen*) oder öffnen die digitale Hilfe (*Hilfe-Button*).

7.2.2 Batchdatei für die ArcInfo-Ausgabe

Der Aufruf der Ausgabe für ArcInfo kann auch direkt ohne die Eingabemaske über die Kommandozeile erfolgen, sofern eine geeignete Batch-Datei **.bna* im Verzeichnis vorhanden ist. Hierzu wird in das Verzeichnis gewechselt, in dem die Berechnung ausgeführt werden soll. Die Eingabe von *nachlauf* und dem Bestätigen mit der Enter-Taste führt dazu, dass eine Berechnung mit dem Modul NACHLAUF gestartet wird. Der voreingestellte Batch-Datei-Name ist *nach.bna*. Diese Datei wird im Verzeichnis gesucht. Mit dem Aufruf *nachlauf Dateiname* kann aber auch eine andere Batch-Datei angegeben werden (die Erweiterung ".bna" wird bei Bedarf automatisch angehängt). Die Batch-Dateien können von Hand mit einem beliebigen Editor erstellt oder verändert werden.

Eine ausführliche Batchdatei kann in der Online-Hilfe eingesehen werden. Ebenso wird dort eine Batchdatei der Datenausgabe für ArcInfo zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung gestellt.

7.3 Datenausgabe im SHAPE-Format

Aufruf über Auswahl im Menü von *Datei → Exportieren → SHAPE-Ausgabe:Knotendaten/Elementdaten…*

Für das SHAPE-Format besitzen viele Programme wie Geoinformationssysteme eine Schnittstelle.

Es wird vorab entschieden, welche Daten (knoten- oder elementbezogen) exportiert werden sollen. Das Eingabefenster ist für beide Arten, abgesehen von den angebotenen Datenarten, identisch.

Ein SHAPE-Paket setzt sich aus zwei Komponenten in 3 Dateien zusammen: den Geometrie-Informationen (*.shx- und *.shp-Dateien) und den Attributen in der Datenbankdatei (*.dbf, dBase-Format). Da die Bezeichnung der Attribute von einigen Programmen auf 11 Zeichen beschränkt ist, erzeugt SPRING darüber hinaus eine *.alias Datei im ASCII-Format, die die exakten Bezeichnungen der Datensätze sowie ggf. Informationen über die Schichtnummern und/oder die Zeitschritte enthält.

7.3.1 Eingabeparameter

Es erscheint folgendes Eingabefenster:

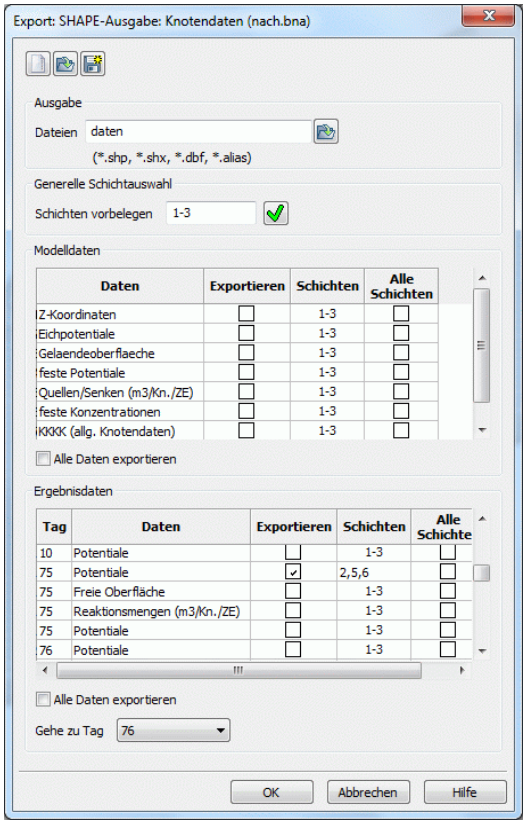


Abb. 219: Eingabe für die Ausgabe im SHAPE-Format

Ausgabe

Hier wird der Name der Ausgabedatei bestimmt, an den die spezifischen Endungen angehängt werden.

Datei	Inhalt
<name>.**shx**	Indizes der Grafik-Objekte
<name>.**shp**	Koordinaten der Grafik-Objekte
<name>.**dbf**	Attribute im dBase-Format
<name>.**alias**	Tabelle mit den exakten Bezeichnungen der Attribute, ggf. mit Schicht- und Zeitangabe (keine eigentliche SHAPE-Datei)

Generelle Schichtauswahl

(nur bei 3D-Modellen)

Für die Auswahl der Schichten für die Ausgabe stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung:

Generelle Schichtauswahl: In das Eingabefeld werden die gewünschten Schichten eingegeben. Nach dem Bestätigen werden für alle zur Auswahl stehenden Datensätze diese Schichten für die Ausgabe gesetzt. Das

bedeutet jedoch nicht, dass sämtliche Datensätze zur Ausgabe ausgewählt wurden. Diese Art der Schichtauswahl eignet sich, wenn mehrere Datenarten für die gleichen Schichten exportiert werden sollen. Dann muss die Schicht nur einmalig und nicht für jede Datenart erneut eingegeben werden.

Individuelle Schichtauswahl (für Modell- und Ergebnisdaten): Für jeden angezeigten Datensatz können die auszugebenden Schichten durch Eingabe der gewünschten Nummer(n) in das neben der Datenbezeichnung angeordnete Eingabefeld einzeln definiert bzw. die aus der Aktion *Generelle Schichtauswahl* vorbelegten Schichtnummern geändert werden. Diese Art der Schichtauswahl eignet sich, wenn nur einzelne Datenarten oder sehr unterschiedliche Schichten exportiert werden sollen.

Daten und Ergebnisse

Hier werden die gewünschten Datenarten und Schichten (s.o.) ausgewählt. Die für einen Export möglichen Modell- und Ergebnisdaten stehen in zwei Tabellen. Eine Datenart wird für den Export ausgewählt, indem in der Spalte „Exportieren“ das entsprechende Kästchen angeklickt wird. Bei einem 3D-Modell werden, sofern nicht eine generelle Schichtauswahl erfolgt ist, alle Schichten für den Export ausgewählt. Sollen nicht alle Schichten, sondern nur bestimmte Schichten exportiert werden, ist das Kästchen in der Spalte „Alle Schichten“ zu deaktivieren und in der Spalte „Schichten“ die gewünschte Schichtnummer einzutragen.

Mit der Checkbox „Alle Daten exportieren“ erfolgt eine Auswahl aller Daten. Bei einem 3D-Modell werden dann auch alle Schichten exportiert.

Gehe zu …

Durch Eingabe eines Zeitpunkts springt die Darstellung in den Ergebnisdaten (nach einer instationären Berechnung) zu dem eingegebenen Zeitpunkt. Dies erleichtert das Auswählen instationärer Ergebnisdaten.

Die Buttons im Kopf des Eingabefensters ermöglichen das Zurücksetzen der Eingabeparameter ( ), das Öffnen einer vorhandenen Batch-Datei ( ) oder das Speichern der aktuellen Batch-Datei unter einem anderen Namen ( ). Die Buttons am unteren Rand des Eingabefensters starten die Berechnung (*OK-Button*), schließen den Dialog (*Abbrechen*) oder öffnen die digitale Hilfe (*Hilfe-Button*).

7.3.2 Batchdatei für die Datenausgabe im SHAPE-Format

Der Aufruf der Ausgabe für Daten im SHAPE-Format kann auch direkt ohne die Eingabemaske über die Kommandozeile erfolgen, sofern eine geeignete Batch-Datei **.bna* im Verzeichnis vorhanden ist. Hierzu wird in das Verzeichnis gewechselt, in dem die Berechnung ausgeführt werden soll. Die Eingabe von *nachlauf* und dem Bestätigen mit der Enter-Taste führt dazu, dass eine Berechnung mit dem Modul NACHLAUF gestartet wird. Der voreingestellte Batch-Datei-Name ist *nach.bna*. Diese Datei wird im Verzeichnis gesucht. Mit dem Aufruf *nachlauf Dateiname* kann aber auch eine andere Batch-Datei angegeben werden (die Erweiterung ".bna" wird bei Bedarf automatisch angehängt). Die Batch-Dateien können von Hand mit einem beliebigen Editor erstellt oder verändert werden.

Eine ausführliche Batchdatei kann in der Online-Hilfe eingesehen werden. Ebenso wird dort eine Batchdatei für die Ausgabe der Daten im SHAPE-Format zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung gestellt.

7.3.3 Isolinien-Export

Der Export von Isolinien mit Wertzuweisung ist in SPRING über die folgende Eingabe in der Batch-Datei der Ploterstellung möglich.

```
gela.plx
HORI    ## Horizontalschnitt
1                                       # oberste Knoten/Elementschicht
TFLD    ## Textfeldtyp
1 0                                     # Textfeldtyp II, Anzahl Folgezeilen
KOOR    ## Koordinatenrahmentyp
1                                       # Typ=0/1
SKAL    ## Skalierungsfaktoren fÃ¼r Plot
1.0 1 1                                 # global, in x-Richtung, in y-Richtung
ISOL    ## Isolinienplot
SHP
85 0 0 0                                # GelÃ¤ndeoberflÃ¤che
-51 0.25 1                              # Farbe (<0->keine Beschr.), StrichstÃ¤rke, Linientyp
1 10                                    # Ã¤quidistante Unterteilung -> Anzahl
RAND    ## Netzrandplot
1 0.25 1                                # Farbe, StrichstÃ¤rke, Linientyp
# ---> Plot Ende!
```

Durch den Zusatz *"SHP"* (roter Pfeil) im Darstellungsblock der gewünschten Datenart (als Isolinien) werden die entsprechenden shape-files nach dem Ausführen der Batch-Datei exportiert. Eine Eingabe und das Ausführen im Ploterstellungs-Dialog ist derzeit nicht möglich.

Die Isolinien sollten OHNE Beschriftung dargestellt werden ("-" vor der Farbzahl, blauer Pfeil), da sonst Lücken in den exportierten Isolinien entstehen.

Wenn der Abstand der zu exportierenden Isolinien kleiner 1,0 ist, muss der Anwender vorher in den Plot-Optionen die Nachkomma-Stellen der Isolinien (*SPRING → Bearbeiten → Optionen: Plot → Isolinien*) auf mindestens 1 (je nach Intervall) stellen, sonst haben mehrere Isolinien den gleichen Wert.

7.4 Datenausgabe für TECPLOT

Aufruf über Auswahl im Menü von *Datei → Exportieren → TECPLOT …*

TECPLOT ist ein kommerzielles Visualisierungsprogramm, mit dessen Hilfe sich dreidimensionale Graphiken von Modell- und Ergebnisdaten aus 2D- oder 3D- Modellen erzeugen lassen. Die meisten Modell- und Ergebnisdaten können mit diesem Menüpunkt TECPLOT-kompatibel in ASCII-Dateien exportiert werden.

Auch eine nachträgliche Visualisierung von Bahnlinien und das Erstellen von 3D-Animationen sind mit TECPLOT möglich. Da in TECPLOT nur knotenbezogene Daten verwaltet werden können, müssen alle Elementdaten zunächst auf Knotendaten gemittelt werden.

Bei 3D-Modellen mit 2D-Klüften wird gegenüber der üblichen Ausgabe aller Knoten/Elementdaten des kompletten 3D-Netzes auch die gefilterte Ausgabe der Daten auf den Klüften unterstützt.

7.4.1 Eingabeparameter

Es erscheint folgendes Eingabefenster:

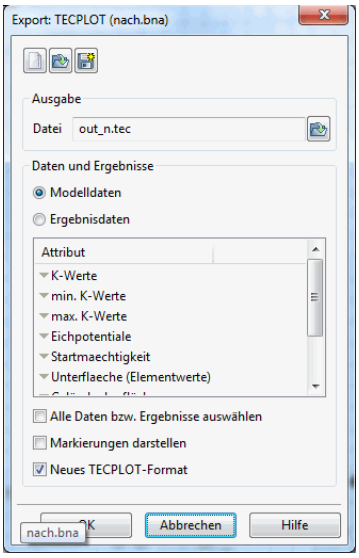


Abb. 220: Eingabe für die TECPLOT-Ausgabe

Ausgabe

Hier wird der Name der Ausgabedatei bestimmt, an den die spezifische Endung angehängt wird.

Daten und Ergebnisse

Hier werden die gewünschten Datenarten ausgewählt.

Durch Eingabe eines Zeitpunktes bei „Gehe zu …“ springt die Darstellung in den Ergebnisdaten (nach einer instationären Berechnung) zu dem eingegebenen Zeitpunkt.

Die Ausgabe für TECPLOT schreibt generell die Modell- oder Ergebnisdaten für alle Schichten weg. Im Programm TECPLOT kann der Anwender dann die gewünschte Schicht auswählen.

Mit gedrückter Strg-Taste können mehrere Datenarten ausgewählt werden. Sollen alle Modell- bzw. Ergebnisdaten exportiert werden, steht eine entsprechende Checkbox „Alle Daten bzw. Ergebnisse auswählen“ unter der Liste zur Verfügung.

Des Weiteren besteht die Möglichkeit, auch die im Modell vorhandenen Markierungen für TECPLOT zu exportieren. Hierzu ist die Checkbox „Markierungen darstellen“ zu aktivieren.

Zum Speichern im neuen Blockformat von TECPLOT wird die entsprechende Checkbox aktiviert. Dieses Format exportiert bei 3D-Modellen auch die Schichtnummer als elementzentriertes Attribut, was das gezielte Aus- oder Einblenden von Elementschichten in TECPLOT erlaubt.

Die Buttons im Kopf des Eingabefensters ermöglichen das Zurücksetzen der Eingabeparameter (), das Öffnen einer vorhandenen Batch-Datei () oder das Speichern der aktuellen Batch-Datei unter einem anderen Namen (). Die Buttons am unteren Rand des Eingabefensters starten die Berechnung (*OK-Button*), schließen den Dialog (*Abbrechen*) oder öffnen die digitale Hilfe (*Hilfe-Button*).

7.4.2 Batchdatei für die TECPLOT-Ausgabe

Der Aufruf der Datenausgabe für TECPLOT kann auch direkt ohne die Eingabemaske über die Kommandozeile erfolgen, sofern eine geeignete Batch-Datei **.bna* im Verzeichnis vorhanden ist. Hierzu wird in das Verzeichnis gewechselt, in dem die Berechnung ausgeführt werden soll. Die Eingabe von *nachlauf* und dem Bestätigen mit der Enter-Taste führt dazu, dass eine Berechnung mit dem Modul NACHLAUF gestartet wird. Der voreingestellte Batch-Datei-Name ist *nach.bna*. Diese Datei wird im Verzeichnis gesucht. Mit dem Aufruf *nachlauf Dateiname* kann aber auch eine andere Batch-Datei angegeben werden (die Erweiterung ".bna" wird bei Bedarf automatisch angehängt). Die Batch-Dateien können von Hand mit einem beliebigen Editor erstellt oder verändert werden.

Eine ausführliche Batchdatei kann in der Online-Hilfe eingesehen werden. Ebenso wird dort eine Batchdatei der Datenausgabe für TECPLOT zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung gestellt.

7.5 Ausgabe von Stromlinien

Aufruf über Auswahl im Menü von *Datei → Exportieren → Stromlinien*

Die Stromlinienberechnung ist im Anschluss an eine stationäre oder instationäre Strömungsberechnung für 2D-Horizontalmodelle möglich. Die berechneten Stromlinien können für ein Modell unterschiedlich aussehen, je nachdem, welche Art der Strömungsberechnung (Modul GEONEU, INSTAT oder SITRA) verwendet wurde. Dies liegt zum einen daran, dass die Stromlinienberechnung numerisch sehr empfindlich ist (kleinste Abweichungen in den berechneten Potentialen bzw. Geschwindigkeiten bewirken spürbare Mengenunterschiede) und zum anderen an der unterschiedlichen FE-Berechnung in den Modulen GEONEU/INSTAT und SITRA (vgl. Kapitel „Stationäre Strömung“ auf S. **280** bzw. „Instationäre Strömung“ auf S. **290**). Durch die Teilung der Elemente in Dreiecke liefert die Diskretisierung im Modul GEONEU gegenüber dem linearen bzw. bilinearen FE-Ansatz im Modul SITRA ein zusätzliches Ergebnis am Elementmittelpunkt.

Im Kapitel „How To – Ermittlung von Einzugsgebieten“ auf S. **403** sind die theoretischen Grundlagen bei einer Stromlinienberechnung dokumentiert.

7.5.1 Eingabeparameter

Es erscheint folgendes Eingabefenster:

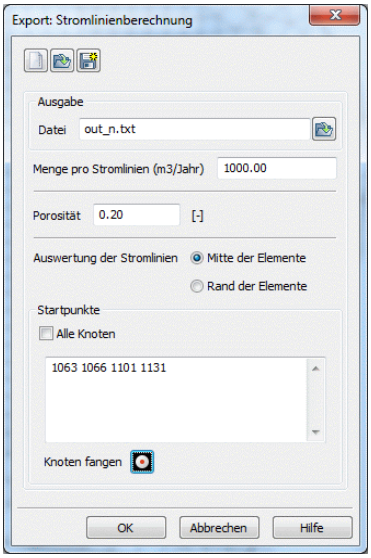


Abb. 221: Eingabe für die Stromlinienberechnung

Ausgabe

Hier wird der Name der Ausgabedatei bestimmt.

Menge pro Stromlinie

Da die Stromlinienberechnung mengenbezogen ist, wird hier eingegeben, für welche Menge die Stromlinien berechnet werden soll. Die Eingabe erfolgt in der Einheit [m³/Jahr]. In der Plotdarstellung fließt zwischen zwei Stromlinien die eingegebene Menge.

Porosität

Die zur Umrechnung der Abstandsgeschwindigkeit in die Filtergeschwindigkeiten notwendige Porosität ist anzugeben (zwischen 0 und 1). Sie gilt einheitlich für alle Elemente. Eine Auswertung der Datenart PORO als Porosität ist zurzeit nicht möglich.

Auswertung der Stromlinien

Die Auswertung der Stromlinienberechnung kann entweder in der Mitte oder am Rand der Elemente geschehen. In der Regel liefert die Auswertung in der Mitte die gefälligeren und glatteren Stromlinien.

Startpunkte

Die Stromlinienberechnung kann entweder für alle oder für bestimmte Knoten durchgeführt werden. Sollen einzelne Startknoten eingegeben werden, erfolgt dies nach Deaktivieren des Kontrollkästchens „*Alle Knoten*“ in einem weiteren Eingabebereich. Es ist auch eine interaktive Eingabe durch Auswahl der Knoten direkt im geöffneten Modell möglich (Aktivieren von „*Knoten fangen*“) Die Startknoten müssen Knoten sein, die mit einer Entnahme belegt sind. Wird die Stromlinienberechnung global durchgeführt, werden am Netzrand, an Linienmarkierungen und in allen Punktentnahmen, deren Menge mindestens der Stromlinienmenge entspricht, eine passende Anzahl Linien gestartet.

Die Buttons im Kopf des Eingabefensters ermöglichen das Zurücksetzen der Eingabeparameter ( ), das Öffnen einer vorhandenen Batch-Datei ( ) oder das Speichern der aktuellen Batch-Datei unter einem anderen Namen ( ). Die Buttons am unteren Rand des Eingabefensters starten die Berechnung (*OK-Button*), schließen den Dialog (*Abbrechen*) oder öffnen die digitale Hilfe (*Hilfe-Button*).

7.5.2 Batchdatei für die Ausgabe von Stromlinien

Der Aufruf der Datenausgabe für Stromlinien kann auch direkt ohne die Eingabemaske über die Kommandozeile erfolgen, sofern eine geeignete Batch-Datei **.bna* im Verzeichnis vorhanden ist. Hierzu wird in das Verzeichnis gewechselt, in dem die Berechnung ausgeführt werden soll. Die Eingabe von *nachlauf* und dem Bestätigen mit der Enter-Taste führt dazu, dass eine Berechnung mit dem Modul NACHLAUF gestartet wird. Der voreingestellte Batch-Datei-Name ist *nach.bna*. Diese Datei wird im Verzeichnis gesucht. Mit dem Aufruf *nachlauf Dateiname* kann aber auch eine andere Batch-Datei angegeben werden (die Erweiterung ".bna" wird bei Bedarf automatisch angehängt). Die Batch-Dateien können von Hand mit einem beliebigen Editor erstellt oder verändert werden.

Eine ausführliche Batchdatei kann in der Online-Hilfe eingesehen werden. Ebenso wird dort eine Batchdatei für die Ausgabe von Stromlinien zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung gestellt.

7.6 Ausgabe von Ganglinien

Aufruf über Auswahl im Menü von *Datei → Exportieren → Ganglinien*

Instationäre Ergebnisse, die in Form von Ganglinien ausgegeben werden können, lassen sich über diese Schnittstelle im Format csv (Trennzeichen-getrennt), wie es Datenbank- und Tabellenkalkulationsprogramme unterstützen, ausgeben.

7.6.1 Eingabeparameter

Es erscheint folgendes Eingabefenster:

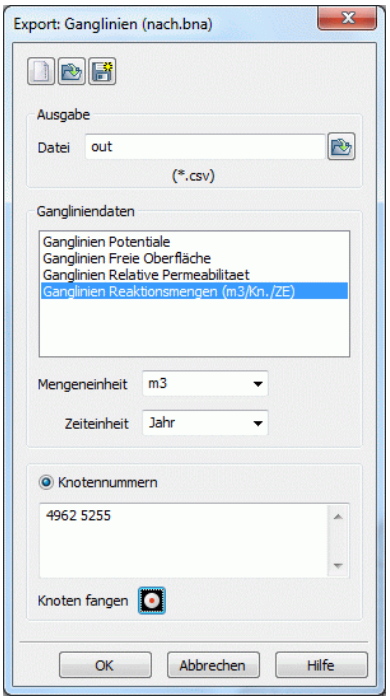


Abb. 222: Eingabe für die Ganglinienausgabe

Ausgabe

Hier wird der Name der Ausgabedatei bestimmt, die Endung .csv wird automatisch angehängt.

Gangliniendaten

Auswahl einer Datenart, für die Gangliniendaten exportiert werden sollen. Handelt es sich um eine mengenbezogene Datenart, kann die Einheit der exportierten Daten explizit festgelegt werden [Mengeneinheit pro Zeiteinheit].

Wahl der Knoten oder Elemente bzw. Bilanzbereiche

Je nach gewählter Datenart werden hier die Knoten- oder Elementnummern festgelegt, für die Ganglinien erzeugt werden. Sie können auch interaktiv am Bildschirm erfasst werden (Knoten/Elemente fangen).

Wurden Bilanzbereiche (Kennung BILK/ BILE) definiert, ist bei Mengen-Ganglinien festzulegen, ob Ganglinien für einzelne Knoten bzw. Elemente oder zusammengefasst für Bereiche erzeugt werden sollen.

Knoten- oder Elementnummern von 3D-Modellen aus tieferliegenden Schichten müssen ggf. um das entsprechende 3D-Nummern-Offset erhöht werden.

Die Buttons im Kopf des Eingabefensters ermöglichen das Zurücksetzen der Eingabeparameter ( ), das Öffnen einer vorhandenen Batch-Datei ( ) oder das Speichern der aktuellen Batch-Datei unter einem anderen Namen ( ). Die Buttons am unteren Rand des Eingabefensters starten die Berechnung (*OK-Button*), schließen den Dialog (*Abbrechen*) oder öffnen die digitale Hilfe (*Hilfe-Button*).

7.6.2 Batchdatei für die Ausgabe von Ganglinien

Der Aufruf der Datenausgabe für Ganglinien kann auch direkt ohne die Eingabemaske über die Kommandozeile erfolgen, sofern eine geeignete Batch-Datei **.bna* im Verzeichnis vorhanden ist. Hierzu wird in das Verzeichnis gewechselt, in dem die Berechnung ausgeführt werden soll. Die Eingabe von *nachlauf* und dem Bestätigen mit der Enter-Taste führt dazu, dass eine Berechnung mit dem Modul NACHLAUF gestartet wird. Der voreingestellte Batch-Datei-Name ist *nach.bna*. Diese Datei wird im Verzeichnis gesucht. Mit dem Aufruf *nachlauf Dateiname* kann aber auch eine andere Batch-Datei angegeben werden (die Erweiterung ".bna" wird bei Bedarf automatisch angehängt). Die Batch-Dateien können von Hand mit einem beliebigen Editor erstellt oder verändert werden.

Eine ausführliche Batchdatei kann in der Online-Hilfe eingesehen werden. Ebenso wird dort eine Batchdatei für die Ausgabe von Ganglinien zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung gestellt.

7.7 Ausgabe der Schlierendarstellung

Aufruf über Auswahl im Menü von *Datei → Exportieren → Schlierendarstellung*

Mit dem Programm *FLIC* (Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin) ist es möglich, nach einer Strömungsberechnung die berechneten Geschwindigkeiten als "Schlieren" darzustellen. Die hierbei verwendete Methode nennt sich "Line Integral Convolution (LIC)". Diese Visualisierungstechnik liefert eine wesentlich bessere Vorstellung über Fließwege als die in der Ploterstellung darstellbaren Fließpfeile. Dies gilt insbesondere bei instationären Berechnungen und 3D-Modellen, wo teilweise keine Stromlinienberechnung möglich ist.

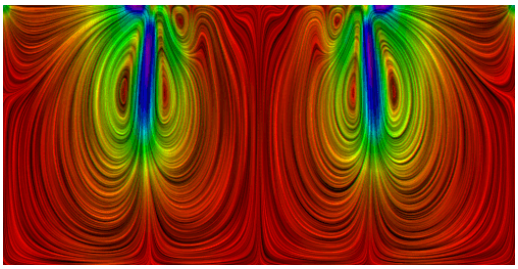


Abb. 223: Beispiel für eine Schlierendarstellung

Durch den Datenexport werden die für FLIC notwendigen ASCII-Dateien erzeugt.

Da die ASCII-Schnittstelle zum Programm FLIC auf Rasterdaten basiert, ist hierfür die Berechnung der Geschwindigkeiten an den Rasterpunkten notwendig.

FLIC ermöglicht eine Einfärbung der Schlieren entweder nach der Größe der Geschwindigkeiten oder nach einem anderen skalaren Parameter, der an allen Rasterpunkten zu definieren ist. Hierzu kann eine Ergebnis- oder Modelldatenart, die für alle Knoten oder Elemente vorliegt, zur Einfärbung der Schlieren angegeben werden (z.B. Einfärben der Schlieren nach Konzentrationen oder Potentialen). Außerdem werden vorhandene Markierungen als mögliche *overlay*-Dateien (*.mar) ausgegeben.

Der Aufruf von FLIC erfolgt automatisch während des Datenexports oder kann manuell in der Kommando-Zeile gestartet werden:

flic cmd=<Kommandoatei> (*.scr)

FLIC generiert dann eine Bitmap im jpg-Format, die mit einem geeigneten Grafikprogramm gelesen werden kann. Bei 2D-Horizontalmodellen und Horizontalschnitten bei 3D-Modellen wird darüber hinaus das dazugehörende world-file (Endung *.jgw) mit den erforderlichen Angaben zur Georeferenzierung erzeugt. Nachfolgend sind die für FLIC zulässigen Kommandos aufgelistet, die auch direkt in der Kommandozeile eingegeben werden können:

```
cmd=<filename>      read more commands from a file
field=circle        use a circular vector field
field=spiral        use a spiral-type vector field (default)
field=<filename>    read a vector field from a file
out=<filename>      name of the resulting LIC image (required)
size=<nx>x<ny>      size of noise input image (default 256x256)
in=bwnoise          create black-white noise image
in=colornoise       create color noise image
in=<filename>       use given image file as input
resize=<nx>x<ny>    resize current input image
kernel=box          select box filter kernel
kernel=triangle     select triangle-shaped filter kernel (default)
kernel=cubic        select third-order B-spline filter kernel
length=<n>          length of filter kernel in pixels (default=20)
subpix=<n>          enable nxn super-sampling to reduce aliasing
contrast=raw        no contrast adjustment (default for file input)
contrast=auto       contrast adjustment (default for noise input)
enhance=0           disable post-filtering of LIC image (default)
enhance=sharpen     compute directional derivative of LIC image
enhance=emboss,<a>  apply emboss filter, angle arg is optional
integrator=euler    use Euler method for field integration
integrator=rk43     use adaptive Runge-Kutta integrator
```

```
interpol=const      nearest-neighbour interpolation of input image
interpol=bilinear   bilinear interpolation of input input (default)
colorfield=dir      color denotes vector orientation (fixed colormap)
colorfield=mag      compute color from vector field magnitude
colorfield=<file>   compute color from scalar field stored in file
colormap=hueramp    use hueramp for pseudocoloring
colormap=hotiron    use rot-yellow-white colormap
colormap=<file>     read colormap from file (icol format)
colorrange=auto     colormap min max adapted to colorfield (default)
colorrange=min,max  specifies colormap min max values
overlay=<file>      render graphics on top of output image
verbose=0|1         enable verbose mode (default is off)
```

7.7.1 Eingabeparameter

Es erscheint folgendes Eingabefenster:

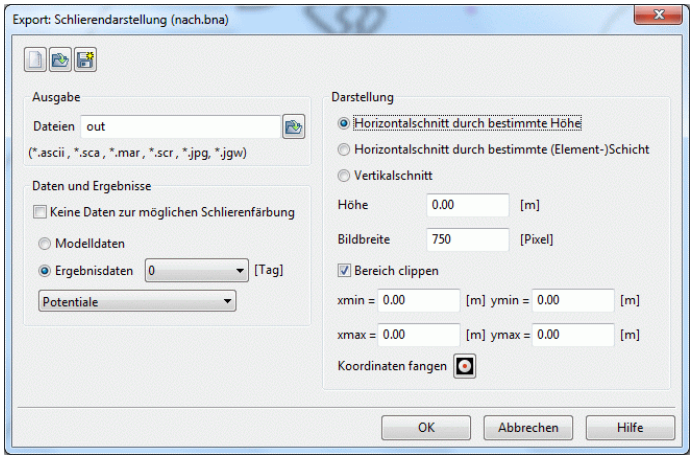


Abb. 224: Eingabe für die Schlierendarstellung

Ausgabe

Hier wird der Name der Ausgabedatei bestimmt, an den die spezifischen Endungen angehängt werden.

Datei	Inhalt
<name>.**ascii**	Diese Datei enthält bei einem 2D-Modell oder einem Horizontalschnitt durch ein 3D-Modell die für FLIC notwendigen Geschwindigkeiten an den Netzknoten und Elementmittelpunkten und eine Inzidenz für das in FLIC verwendete Dreiecksnetz (SPRING-Vierecke werden in 4 Dreiecke, SPRING-Dreiecke in 3 Dreiecke unterteilt). Bei einem Vertikalschnitt enthält diese Datei die für FLIC notwendigen Geschwindigkeiten an den Rasterpunkten.
<name>.**sca**	Diese Datei wird nur erzeugt, wenn skalare Daten zur Einfärbung der Schlieren auf dem Raster ausgegeben werden sollen. Hier stehen bei einem 2D-Modell oder einem Horizontalschnitt durch ein 3D-Modell die notwendigen Werte der Daten an den Netzknoten und Elementmittelpunkten, ergänzt durch die in FLIC verwendete Dreiecks-Inzidenz. Bei einem Vertikalschnitt durch ein 3D-Modell enthält diese Datei die Werte der Daten an den Rasterpunkten.
<name>.**mar**	Diese Datei wird nur erzeugt, wenn Markierungen vorhanden sind (allerdings nicht bei einem Vertikalschnitt durch ein 3D-Modell). Punktmarkierungen werden hierbei als "Sternchen" realisiert. Falls diese Punktmarkierungen nicht gewünscht werden, kann der entsprechende Teil in der entstandenen Datei (nach dem Kommentar "Punktmarkierungen") gelöscht werden.
<name>.**scr**	Diese Datei kann als Kommando-Datei für FLIC (Aufruf: *"flic cmd=<Ausgabedatei>.scr"*) verwendet werden. Der Dateiname der von FLIC zu generierenden Bitmap ist auf <Ausgabedatei>.jpg vor-

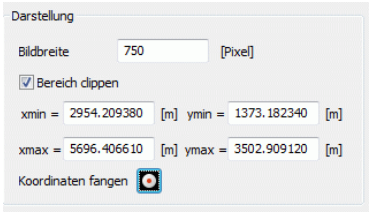
	eingestellt. (Befehlszeile *"out=..."*.) Hier kann alternativ auch ein pgm-Format durch Umstellen des Suffixes auf .pgm angesteuert werden. Sofern Markierungen als overlay-Datei ausgegeben wurden, wird die Datei mit dem *"overlay=..."* Befehl überlagert. Sofern skalare Daten auf dem Raster ausgegeben wurden, werden diese über den *"colorfield=..."* Befehl zur Einfärbung verwendet. Die Extremwerte der skalaren Daten im Befehl *"colorrange=..."* spielen bei der Farbgebung eine entscheidende Rolle. Die verwendete Farbpalette kann durch Modifizieren dieser Extremwerte verschoben werden. Werden keine skalaren Daten zur Farbgebung verwendet, sind die Geschwindigkeiten bei der Farbgebung entscheidend (*"colorfield=mag"*). Hierbei sind ebenfalls die extremen Geschwindigkeiten im Befehl *"colorrange=..."* für die Farbgebung entscheidend.
<name>.**jpg**	Bilddatei
<name>.**jgw**	Zur Bilddatei gehörige Georeferenzierungsdatei

Daten und Ergebnisse

Voreingestellt ist die Darstellung der Geschwindigkeiten. Erst durch Deaktivieren des Kontrollkästchens können optional Daten zur möglichen Einfärbung der Schlieren ausgewählt werden.

Durch Wahl der Modell- oder Ergebnisdaten erscheint ein Untermenü, in dem die Datenarten aufgelistet werden, die Daten an allen Knoten oder Elementen besitzen. Liegen instationäre Ergebnisdaten vor, kann zusätzlich der gewünschte Zeitpunkt ausgewählt werden.

Darstellung



Bildbreite in Pixeln:

Die horizontale Auflösung des Schlierenbildes kann in Pixeln vorgegeben werden. Die resultierende vertikale Auflösung wird in der Berechnung ermittelt und an FLIC weitergegeben. So werden unbeabsichtigte Verzerrungen insbesondere beim Clipping verhindert. Die voreingestellte Größe für die von FLIC zu generierende Bitmap ist bei 2D-Modellen oder Horizontalschnitten durch 3D-Modelle auf 750 Pixel in x-Richtung gesetzt und wird in y-Richtung entsprechend der Modellgröße gerundet. Bei Vertikalschnitten orientiert sich die voreingestellte Größe am definierten Raster (10-fache Anzahl Rasterpunkte) (Befehlszeile *"size=..x.."*.)

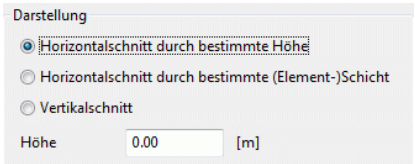
Bereich clippen:

An dieser Stelle kann bei Aktivierung des Kontrollkästchens „Bereich clippen“ ein Rechteck definiert werden, in dem das Schlierenbild dargestellt werden soll.

Durch Aktivieren des Buttons *Koordinaten fangen* ( ) können die Punkte interaktiv in der SPRING-Oberfläche erfasst werden.

Bei **3D-Modellen** ist zusätzlich zu wählen, ob eine Darstellung als Horizontal- oder Vertikalschnitt exportiert werden soll.

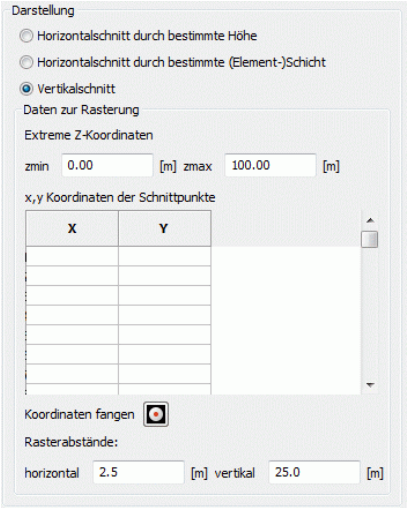
Die Lage des **Horizontalschnitts** kann auf zwei Arten festgelegt werden:



- Horizontalschnitt durch bestimmte Höhe:
  Eingabe der Höhe (in m) ist notwendig

- Horizontalschnitt durch bestimmte (Element-)Schicht:
  Eingabe der (Element-)Schichtnummer ist notwendig, in dem Fall ändert sich der Dialog von „*Höhe*“ in „*Schicht*“,

Bei einem **Vertikalschnitt** wird die Schlierendarstellung nicht auf Grundlage des Originalnetzes durchgeführt, sondern auf einer Rasterung der Schnittfläche. Die Schlieren werden auf Grundlage der an den Rasterpunkten berechneten Geschwindigkeiten dargestellt. Je feiner das Raster ist, desto besser ist die farbliche Darstellungsmöglichkeit. Allerdings führt die Verringerung der Rasterweite unter die im FE-Netz vorhandene Elementweite ab einem gewissen Punkt zu keiner Verbesserung der Darstellung mehr, sondern erhöht lediglich den Rechenaufwand um ein Vielfaches. Um die Lage des Vertikalschnittes und das Raster zu definieren, sind folgende Eingaben notwendig:



Daten zur Rasterung

- Extreme Z-Koordinaten:

Es ist die minimale und maximale Höhenlage für die obere und untere Begrenzung des Vertikalschnitts (zmin und zmax) einzugeben.

- Lage des Schnittes:

Bei der Wahl eines Vertikalschnitts muss die Lage des Schnittes in der (x,y)-Ebene bestimmt werden.

Es müssen mindestens zwei Punkte in horizontaler Ebene angegeben werden, um den Schnitt-Verlauf festzulegen. Dies kann manuell durch direkte Eingabe der Koordinaten geschehen oder interaktiv in der SPRING-Oberfläche („*Koordinaten fangen*“).

- Festlegen des Rasterabstands:

Der Rasterabstand wird bestimmt durch die Eingabe der Rastergrößen in horizontaler und vertikaler Richtung.

Während der Berechnung werden an allen durch die Rasterabstände und Rasterecken definierten Koordinaten (x, y, (z)) ein Geschwindigkeitsvektor und eventuell der Wert der 'skalaren' Daten berechnet.

Die Buttons im Kopf des Eingabefensters ermöglichen das Zurücksetzen der Eingabeparameter ( ), das Öffnen einer vorhandenen Batch-Datei ( ) oder das Speichern der aktuellen Batch-Datei unter einem anderen Namen ( ). Die Buttons am unteren Rand des Eingabefensters starten die Berechnung (*OK-Button*), schließen den Dialog (*Abbrechen*) oder öffnen die digitale Hilfe (*Hilfe-Button*).

7.7.2 Batchdatei für die Ausgabe von Schlieren

Der Aufruf der Datenausgabe für Schlieren kann auch direkt ohne die Eingabemaske über die Kommandozeile erfolgen, sofern eine geeignete Batch-Datei **.bna* im Verzeichnis vorhanden ist. Hierzu wird in das Verzeichnis gewechselt, in dem die Berechnung ausgeführt werden soll. Die Eingabe von *nachlauf* und dem Bestätigen mit der Enter-Taste führt dazu, dass eine Berechnung mit dem Modul NACHLAUF gestartet wird. Der voreingestellte Batch-Datei-Name ist *nach.bna*. Diese Datei wird im Verzeichnis gesucht. Mit dem Aufruf

nachlauf Dateiname kann aber auch eine andere Batch-Datei angegeben werden (die Erweiterung ".bna" wird bei Bedarf automatisch angehängt). Die Batch-Dateien können von Hand mit einem beliebigen Editor erstellt oder verändert werden.

Eine ausführliche Batchdatei kann in der Online-Hilfe eingesehen werden. Ebenso wird dort eine Batchdatei für die Ausgabe von Schlieren zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung gestellt.

7.8 Ausgabe der Differenzen zu Messdaten

Aufruf über Auswahl im Menü von *Datei → Exportieren → Differenz zu Messdaten*

Mit diesem Tool können Differenzen von berechneten Daten (z.B. Flurabstände) oder Modelldaten (z.B. Eichpotentiale) zu Messdaten (z.B. eingemessene Kellerhöhen) berechnet und in einer ASCII-Datei gespeichert werden.

7.8.1 Eingabeparameter

Es erscheint folgendes Eingabefenster:

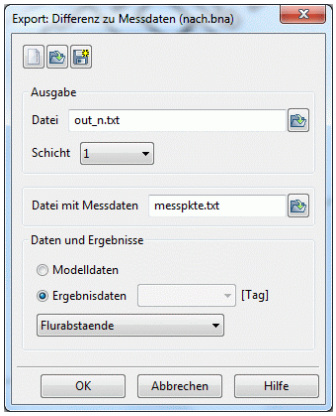


Abb. 225: Eingabe für die Messdatendifferenzen

Ausgabe

Hier wird der Name der Ausgabedatei bestimmt. Die berechneten Differenzen werden im Strukturdaten-Format (S. **31**) gespeichert.

Schicht

Bei einem 3D-Modell kann hier die gewünschte Schichtnummer angegeben werden.

Datei mit Messdaten

Hier wird die Datei ausgewählt, deren Messwerte zur Verrechnung herangezogen werden sollen. Die Messdatendatei muss die Messdaten (x_i y_i, $Wert_i$) im Strukturdaten-Format (I6, F10, F10, F10) enthalten.

Daten und Ergebnisse

Durch Wahl der Modell- oder Ergebnisdaten erscheint ein Untermenü, in dem die zur Verrechnung möglichen Datenarten, die an allen Knoten oder Elementen vorhanden sind, aufgelistet werden. Liegen instationäre Ergebnisdaten vor, kann zusätzlich der gewünschte Zeitpunkt ausgewählt werden.

Die Buttons im Kopf des Eingabefensters ermöglichen das Zurücksetzen der Eingabeparameter ( ), das Öffnen einer vorhandenen Batch-Datei ( ) oder das Speichern der aktuellen Batch-Datei unter einem anderen Namen ( ). Die Buttons am unteren Rand des Eingabefensters starten die Berechnung (*OK-Button*), schließen den Dialog (*Abbrechen*) oder öffnen die digitale Hilfe (*Hilfe-Button*).

7.8.2 Batchdatei für die Ausgabe der Differenzen zu Messdaten

Der Aufruf der Datenausgabe der Differenzen zu Messdaten kann auch direkt ohne die Eingabemaske über die Kommandozeile erfolgen, sofern eine geeignete Batch-Datei **.bna* im Verzeichnis vorhanden ist. Hierzu wird in das Verzeichnis gewechselt, in dem die Berechnung ausgeführt werden soll. Die Eingabe von *nachlauf* und dem Bestätigen mit der Enter-Taste führt dazu, dass eine Berechnung mit dem Modul NACHLAUF gestartet wird. Der voreingestellte Batch-Datei-Name ist *nach.bna*. Diese Datei wird im Verzeichnis gesucht. Mit dem Aufruf *nachlauf Dateiname* kann aber auch eine andere Batch-Datei angegeben werden (die Erweiterung ".bna" wird bei Bedarf automatisch angehängt). Die Batch-Dateien können von Hand mit einem beliebigen Editor erstellt oder verändert werden.

Eine ausführliche Batchdatei kann in der Online-Hilfe eingesehen werden. Ebenso wird dort eine Batchdatei für die Ausgabe der Differenzen zu Messdaten zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung gestellt.

7.9 Ausgabe von instationären Daten aus Berechnungsergebnissen

Aufruf über Auswahl im Menü von *Datei → Exportieren → Instationäre Eingabedatei aus Berechnungsergebnissen...*

Mit diesem Tool können instationäre Daten nach einer Berechnung in einer (neuen) instationären Eingabedatei gespeichert werden. Wird z.B. für ein Teilmodell eine instationäre Randstruktur benötigt, können mit Hilfe dieses Menüpunktes berechnete Potentiale (oder alle anderen instationären Knotendaten) für jeden Zeitschritt für jeden Knoten, der vom Benutzer festgelegt wird, in einer instationären Eingabedatei ausgegeben werden.

7.9.1 Eingabeparameter

Es erscheint folgendes Eingabefenster:

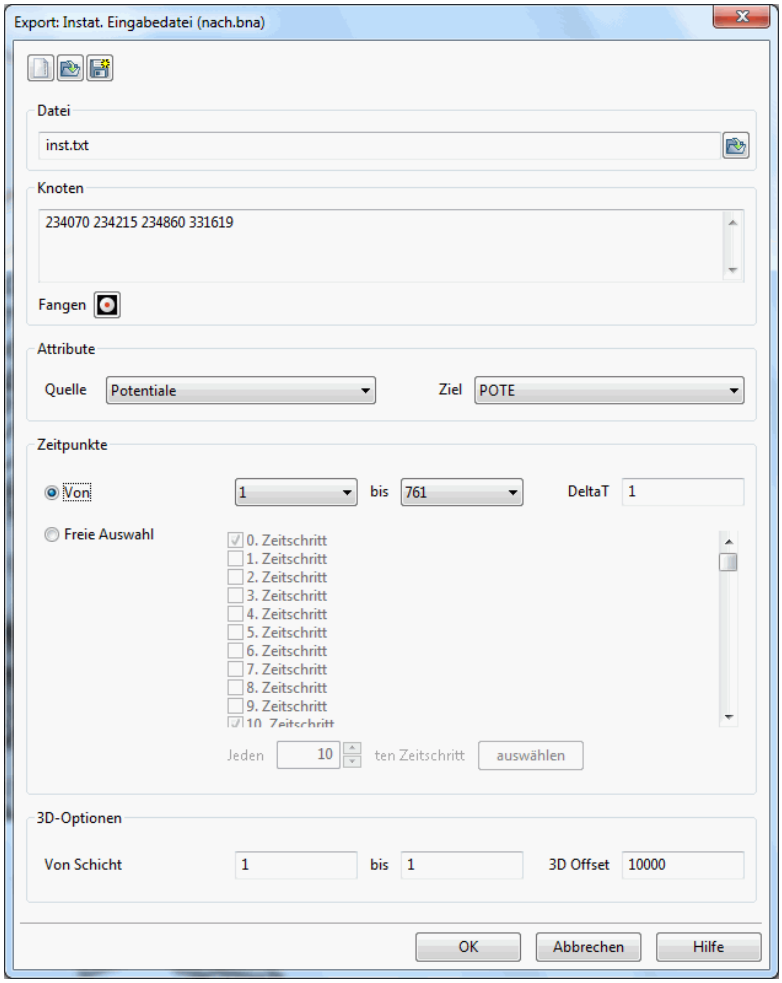


Abb. 226: Eingabe für das Speichern von instationären Berechnungsergebnissen

Ausgabe

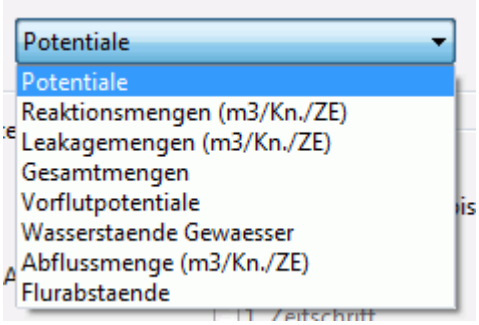
Hier wird der Name der neuen instationären Eingabedatei festgelegt.

Knoten

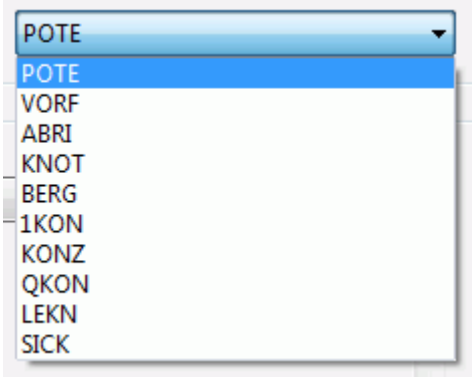
Die Knotennummern können wahlweise über die Nummernliste oder interaktiv durch Aktivieren des Buttons direkt im Modell ausgewählt werden.

Attribute

Zunächst werden die Quelldaten festgelegt. Diese entsprechen den Ausgabedaten nach einer instationären Berechnung:



Dann erfolgt die Attributzuordnung in der Zieldatei. Hier stehen die möglichen instationären Knotenattribute zur Auswahl:



Zeitpunkte

Es kann gewählt werden, ob bestimmte Zeitpunkte von - bis im Abstand DeltaT (z.B. DeltaT = 2 bedeutet, es wird nur der 1., 3. ,5. usw. Zeitschritt gespeichert) gespeichert werden, oder es besteht eine freie Auswahl der zu speichernden Zeitpunkte.

3D-Optionen

Im Fall eines 3D-Modells kann zusätzlich eine Auswahl der zu speichernden Schichten sowie ein entsprechender Offset angegeben werden.

Die Buttons im Kopf des Eingabefensters ermöglichen das Zurücksetzen der Eingabeparameter ( ), das Öffnen einer vorhandenen Batch-Datei ( ) oder das Speichern der aktuellen Batch-Datei unter einem anderen Namen ( ).

7.9.2 Batchdatei für die Ausgabe der instationären Daten

Der Aufruf der Datenausgabe für eine instationäre Eingabedatei kann auch direkt ohne die Eingabemaske über die Kommandozeile erfolgen, sofern eine geeignete Batch-Datei **.bna* im Verzeichnis vorhanden ist. Hierzu wird in das Verzeichnis gewechselt, in dem die Berechnung ausgeführt werden soll. Die Eingabe von *nachlauf* und dem Bestätigen mit der Enter-Taste führt dazu, dass eine Berechnung mit dem Modul NACHLAUF gestartet wird. Der voreingestellte Batch-Datei-Name ist *nach.bna*. Diese Datei wird im Verzeichnis gesucht. Mit dem Aufruf *nachlauf Dateiname* kann aber auch eine andere Batch-Datei angegeben werden (die Erweiterung ".bna" wird bei Bedarf automatisch angehängt). Die Batch-Dateien können von Hand mit einem beliebigen Editor erstellt oder verändert werden.

Eine ausführliche Batchdatei kann in der Online-Hilfe eingesehen werden. Ebenso wird dort eine Batchdatei für die Ausgabe der instationären Daten zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung gestellt.

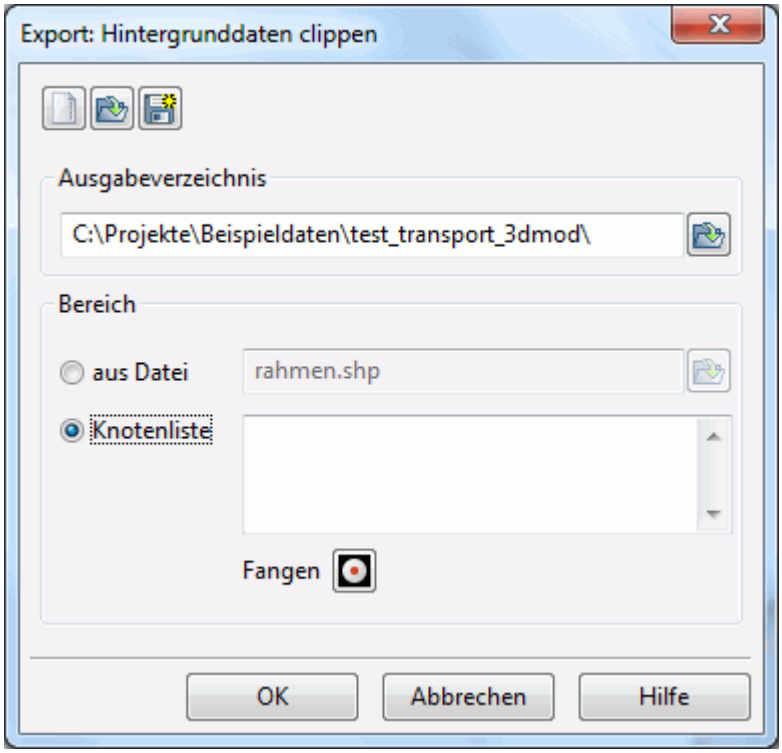
7.10 Ausgabe von Ergebnisdaten für bestimmte Bereiche

Aufruf über Auswahl im Menü von *Datei → Exportieren → Ergebnisdaten clippen...*

Mit diesem Tool können die Ergebnisdaten in den Hintergrunddateien für einen bestimmten Modellbereich geclippt werden. Dies ist insbesondere für die Datenbereitstellung für STRING von Nutzen.

7.10.1 Eingabeparameter

Es erscheint folgendes Eingabefenster:



Ausgabeverzeichnis

Hier wird das Verzeichnis festgelegt, in dem die gekürzten Hintergrunddateien gespeichert werden sollen. Es darf nicht das Originalverzeichnis der Berechnung sein. Somit besteht jederzeit die Möglichkeit, den Clipping-Bereich anhand der Originaldaten zu variieren.

Bereich

Der Clipping-Bereich kann entweder durch die Wahl eines shape-files oder interaktiv über eine Knotenauswahl festgelegt werden.

Die Buttons im Kopf des Eingabefensters ermöglichen das Zurücksetzen der Eingabeparameter ( ), das Öffnen einer vorhandenen Batch-Datei ( ) oder das Speichern der aktuellen Batch-Datei unter einem anderen Namen ( ).

8 Ploterstellung

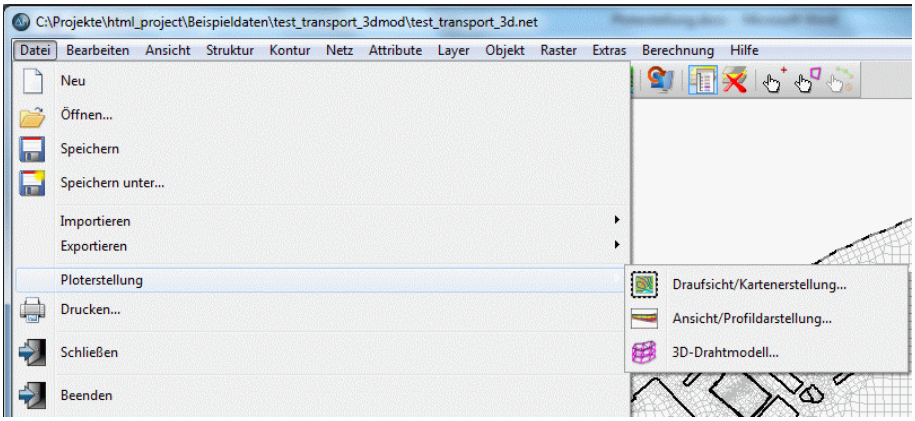
In diesem Kapitel werden die verschiedenen Möglichkeiten der Ploterstellung beschrieben. Der Aufruf erfolgt in der SPRING-Oberfläche unter *Datei → Ploterstellung*.

Bereits nach einer *Modellprüfung* ist es möglich, nahezu alle Modelldaten darzustellen. So kann eine grafische Kontrolle auf Eingabefehler bzw. eine Dokumentation der Daten durchgeführt werden.

Nach einer erfolgreichen Modellberechnung können fast alle Ergebnisse in unterschiedlicher Form dargestellt werden. Es sind Datenverschneidungen (auch mit den Ergebnissen anderer Rechenläufe) oder das Einblenden und Verrechnen mit Messdaten möglich.

Die erzeugten Plots werden im *.plx-Format gespeichert, wobei die einzelnen Informationen (Isolinien, Werte, Markierungen, usw.) als einzelne Layer abgelegt werden und dadurch eigenständig bearbeitet werden können.

Es stehen folgende Darstellungsmöglichkeiten zur Auswahl:

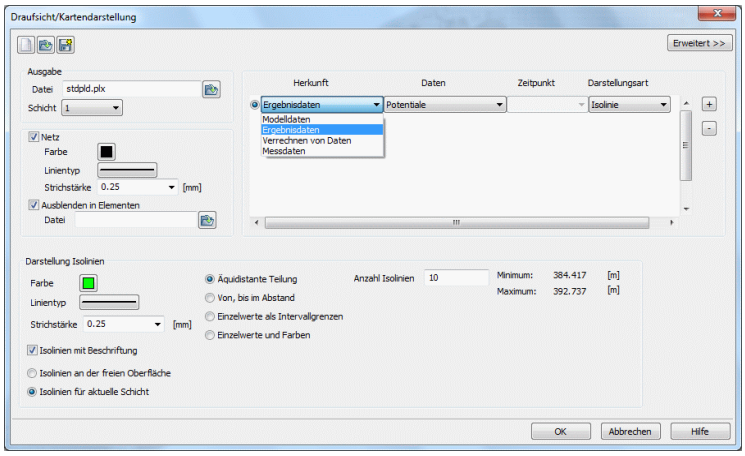


Im Gegensatz zum Batchdateiaufbau der anderen Berechnungsmodule ist die Batchdatei der Ploterstellung in Befehlspakete gegliedert, die nacheinander abgearbeitet werden. Tritt aus irgendeinem Grund während der Ploterstellung ein Fehler auf, versucht das Programm, mit dem nächsten Batch-Befehl fortzufahren. Die Batch-Befehle sind abhängig von der Datenart und der gewählten Darstellung. Sie sind im Kapitel „Batchdatei der Ploterzeugung“ auf S. 386 einzeln beschrieben.

8.1 Draufsicht/Kartenerstellung

Aufruf über Auswahl im Menü von *Datei → Ploterstellung → Draufsicht/Kartendarstellung…*

Nach Auswahl dieses Menüpunktes erscheint folgendes Eingabefenster:



Die Buttons im Kopf des Eingabefensters ermöglichen das Zurücksetzen der Eingabeparameter ( ), das Öffnen einer vorhandenen Batch-Datei ( ) oder das Speichern der aktuellen Batch-Datei unter einem anderen Namen ( ).

Die Auswahl „Erweitert“ führt zu zusätzlichen Einstellungen.

Ausgabe

(Batch-Befehl DATE)

An dieser Stelle wird der Name der Ausgabedatei festgelegt. Über das Dateiauswahlfenster kann der Name einer bereits bestehenden *.plx-Datei geladen werden.

Bei einem 3D-Modell kann die Schicht ausgewählt werden, für die eine Draufsicht erstellt werden soll (Horizontalschnitt).

Netz

(Batch-Befehl NETZ)

Durch Aktivieren des Kontrollkästchens *Netz* wird das Elementnetz im Plot dargestellt. Es können die Farbe, der Linientyp und die Strichstärke gewählt werden.

Ausblenden von Elementen

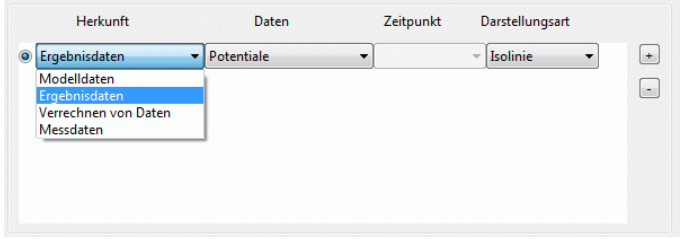
(Batch-Befehl AUSB)

Bei manchen Modellen kann es sinnvoll sein, die Ergebnisse (z.B. Geschwindigkeitspfeile oder Isolinien der Potentiale) in bestimmten Modellbereichen nicht darzustellen, weil z.B. bei einem 3D-Modell in der gewählten Schicht der GWL ungesättigt ist oder nicht als Leiter existiert. Der auszublendende Bereich wird in einer separaten ASCII-Datei (Ausblend) durch Angabe der entsprechenden Elementnummern definiert. Das Format dieser Datei entspricht dem „Eingabeformat der Netzdatei“ (S. **28**) (16x, 9 (I6, A1), A1) beginnend ab der ersten Zeile ohne jede Datenkennung oder Kommentarzeile, wobei der Datenwert beliebig ist oder fehlen kann.

Wenn das Kontrollkästchen *Ausblenden von Elementen* aktiviert ist, muss der Dateiname der Ausblenddatei angegeben werden bzw. kann über den Button *Datei öffnen* ausgewählt werden.

Herkunft, Datenart, Zeitpunkt, Darstellungsart

In diesem Bereich des Eingabefensters werden die einzelnen Layer des späteren Plots ausgewählt und zusammengestellt.

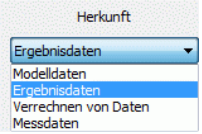


Dabei ist die Reihenfolge bei der Auswahl nicht relevant. Bevor die Plotdatei (*.plx) erstellt wird, erfolgt eine Sortierung der Layer, so dass flächige Darstellungen hinter punkt- oder linienförmigen Darstellungen liegen.

Über die Buttons seitlich der Darstellungsart

ist es möglich, einen weiteren Layer hinzuzufügen (+-Button) bzw. einen Layer aus der Liste zu entfernen (--Button). Dabei wird der aktive Datensatz aus der Liste entfernt. Der Radiobutton am Anfang der Zeile zeigt an, welcher Datensatz aktiv ist.

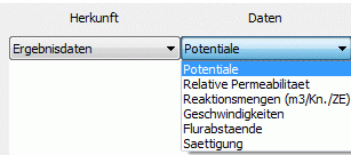
Bei dem Auswahlfeld in der Spalte Herkunft stehen zur Auswahl



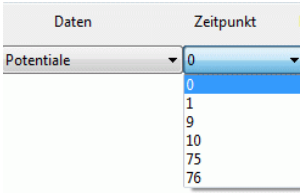
Je nach Auswahl in diesem Feld ergeben sich für die weiteren Spalten (Daten, Zeitpunkt und Darstellungsart) weitere Eingabemöglichkeiten.

Herkunft: Modell- bzw. Ergebnisdaten

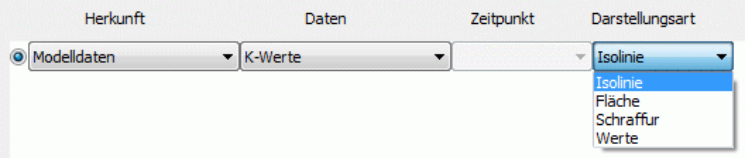
Bei Wahl von Modell- bzw. Ergebnisdaten in dem Auswahlfeld der Herkunft werden die in den Hintergrunddateien gespeicherten Datenarten in dem Auswahlfeld in der Spalte Daten bereitgestellt. Die Datenarten ergeben sich bei den Modelldaten aus den in der Modelldatei vorhandenen Attributen, bei den Ergebnisdaten aus der vorher durchgeführten Berechnung. Nach einer stationären Strömungsberechnung stehen z.B. diese Ergebnisdaten zur Verfügung:



Bei einer instationären Berechnung wird zusätzlich der Zeitpunkt für eine Darstellung festgelegt.

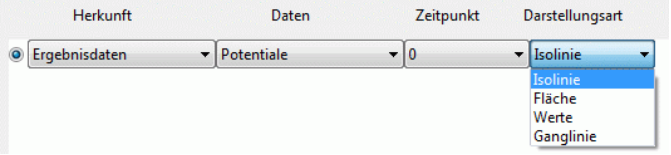


Die Auswahl der Datenart hat entsprechende bzw. unterschiedliche Darstellungsmöglichkeiten zur Folge. Bei flächendeckend definierten Elementdaten gibt es die folgenden Darstellungsarten:



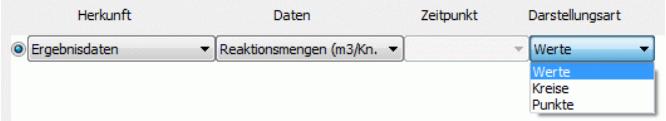
Die Darstellungsart *Schraffur* ist nur bei Elementdaten möglich.

Bei Knotendaten, die häufig flächendeckend definiert sind, gibt es die folgenden Darstellungsarten:



Die Darstellungsart *Ganglinie* ist nur nach einer instationären Berechnung möglich.

Im Gegensatz dazu werden bei punktuellen Daten wie Quellen/Senken oder feste Potentiale nur folgende Darstellungen angeboten:

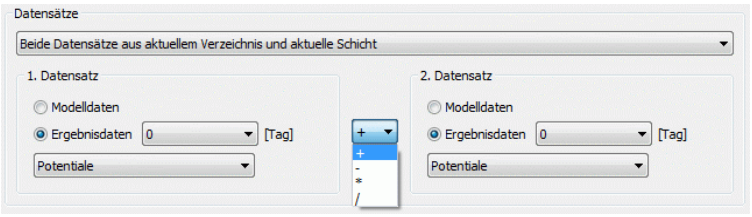


Bei speziellen Daten wie Element-/Knotennummern, Netzrand, Geschwindigkeiten oder Markierungen wird nur die Darstellungsart *Linie* angeboten, die im Eingabeblock *Darstellung* beliebig modifiziert werden kann.

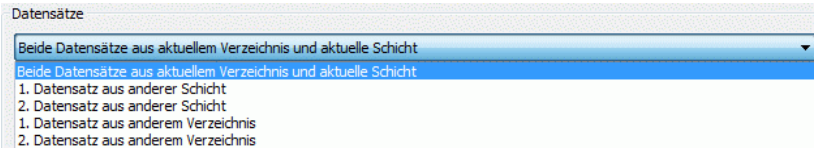
Herkunft: Verrechnen von Daten

Hier besteht die Möglichkeit, Daten aus dem gleichen oder anderen Rechenläufen oder aus anderen Schichten bei 3D-Modellen miteinander zu verrechnen und anschließend darzustellen (Batch-Befehl RECH).

Zusätzlich zum Eingabeblock *Darstellung* ist der Eingabeblock *Datensätze* sichtbar.



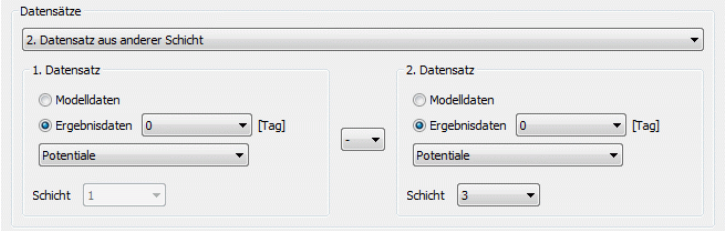
Zunächst ist festzulegen auf welcher Modell-/Ergebnisdatenbasis die Daten verrechnet werden sollen. Es gibt folgende Möglichkeiten:



- Beide Datensätze können aus dem aktuellen Verzeichnis, d.h. aus dem gleichen Rechenlauf, und (bei einem 3D-Modell) aus der aktuellen Schicht sein.
- Beide Datensätze können aus dem aktuellen Verzeichnis, d.h. aus dem gleichen Rechenlauf, aber einer der beiden Datensätze kann (bei einem 3D-Modell) aus einer anderen Schicht sein.
- Beide Datensätze können (bei einem 3D-Modell) aus der aktuellen Schicht sein, aber einer der beiden Datensätze kann aus einem anderen Verzeichnis, d.h. aus einem anderen Rechenlauf, sein.

Soll ein Datensatz aus einem anderen Verzeichnis verwendet werden, ist im Textfeld der Pfad relativ vom aktuellen Verzeichnis zu diesem Verzeichnis anzugeben (wahlweise auch Auswahl des Verzeichnisses durch ein Dateiauswahlfenster).

Soll ein Datensatz aus einer anderen Schicht (3D-Modell) verwendet werden, so ist im zugehörigen Textfeld die Schichtnummer anzugeben.

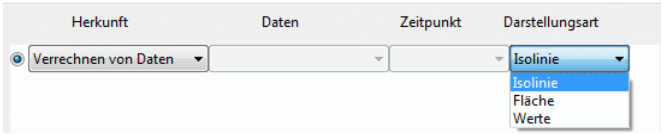


Bei Auswahl von *Verrechnen von Daten* sind die Auswahlfelder *Daten* und *Zeitpunkt* nicht editierbar. Diese beiden notwendigen Informationen werden im Eingabeblock *Datensätze* für beide Datenarten festgelegt.

Im linken Teil der obigen Eingabemaske wird der 1. Datensatz und im rechten Teil der 2. Datensatz zum Verrechnen definiert. Nach der Wahl, ob Modelldaten, Ergebnisdaten oder ggf. Ergebnisdaten über die Zeit (instationäre Berechnung) verwendet werden sollen, sind die eigentlichen Datenarten anzuwählen. Bei einem 3D-Modell beziehen sich alle Daten immer auf die im Eingabeblock *Ausgabe* angegebene Schichtnummer, es sei denn, es werden Daten aus einer anderen Schicht verrechnet!

Bei Auswahl des Verrechnens zweier Datensätze können diese mit den vier Grundrechenarten Addition (+), Subtraktion (-), Multiplikation (*) oder Division (/) verknüpft werden.

Mögliche Darstellungsarten sind: Isolinie, Fläche oder Werte.

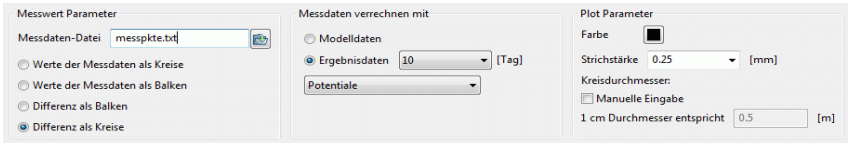


Die Festlegung der Darstellungsparameter erfolgt im Eingabeblock *Darstellung*.

Herkunft: Messdaten

Sollen Messdaten dargestellt werden, erscheint der Eingabeblock *Messwert-Parameter*. Bei Auswahl von Verrechnen von Daten sind die Auswahlfelder Daten, Zeitpunkt und Darstellungsart nicht editierbar.

Der Eingabeblock Messwert-Parameter hat die folgenden Eingabemöglichkeiten (Batch-Befehl EICH):



Zunächst wird der Name der Messdatendatei eingegeben oder in einem Dateiauswahlfenster ausgewählt. Die Messdatendatei kann nur ausgewertet werden, wenn sie im Strukturdaten-Format vorliegt.

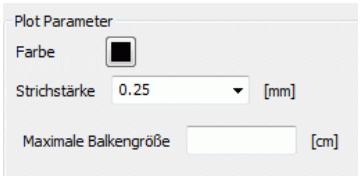
Es bestehen folgende Möglichkeiten zur Darstellung der Messdaten:

- Werte der Messdaten als Kreise darstellen:

Die Messpunkte werden mit einem Marker + markiert und die Werte an die Punkte geplottet (plogeo.ini-Befehle EHGT und ETYP). Der Markertyp wird in den Plot-Optionen (S. **90**) festgelegt. Dabei kann noch eine Farbe und eine Strichstärke gewählt werden.

- Werte der Messdaten als Balken darstellen:

An den Messpunkten werden Balken geplottet. Dabei zeigt die Balkenhöhe den Wert des Messpunktes an. Als weitere Eingaben sind eine Farbe, eine Strichstärke und eine maximale Balkengröße zu wählen. Dabei ist die Angabe einer maximalen Balkengröße eine Art Skalierung für die Messwerte.

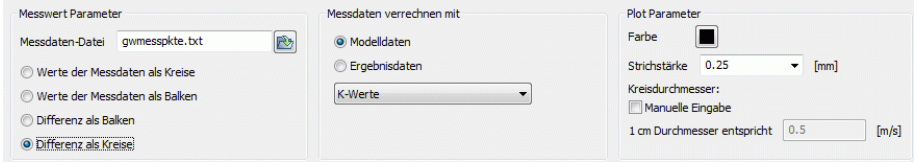


- Differenz der Messdaten als Balken oder Kreise zu einer beliebigen Modelldaten- oder Ergebnisdatenart:

Bei Auswahl dieser Möglichkeiten werden die Messdaten mit einer vorhandenen Datenart (Modell- oder Ergebnisdaten) verglichen. Es wird eine Differenz gebildet und als Balken oder Kreis geplottet. Neben der Eingabe einer Farbe, einer Strichstärke und einer maximalen Balkengröße (s.o.) bzw. eines Kreisdurchmessers ist eine Datenart zu wählen (ggf. auch ein Zeitschritt), mit der die Messdaten verrechnet werden sollen (plogeo.ini-Befehl RADI).

Bei einem 3D-Modell erfolgt die Differenz für die unter *Ausgabe* angegebene Schicht.

Polt-Parameter für die Kreisdarstellung:



Ohne Aktivieren der manuellen Eingabe wird die maximale Kreisgröße über die Optionen in der plogeo.ini-Datei festgelegt (*Bearbeiten → Optionen*). In der Batchdatei der Ploterstellung steht dann für EICH z.B. folgendes:

```
EICH   ## Messdaten Differenzen als Kreisplot
201 0 0 0          # Potentiale
1 0.25 0 0         # Farbe, Strichstärke, Kreisdarstellung
gwmesspkte.txt     # Datei mit Messdaten (im Strukturdatenformat)
```

Wenn die manuelle Eingabe aktiviert ist, wird vorgegeben, dass eine Differenz von z.B. 0.5 m/s einem Kreisdurchmesser von 1 cm entspricht. In der Batchdatei der Ploterstellung steht dann für EICH z.B. folgendes:

```
EICH   ## Messdaten Differenzen als Kreisplot
201 0 0 0 1 0.5  # Potentiale
1 0.25 0 0       # Farbe, Strichstärke, Kreisdarstellung
gwmesspkte.txt   # Datei mit Messdaten (im Strukturdatenformat)
```

Die Ziffern der Werte an den Messpunkten werden in Polylines umgewandelt. Die Höhe der Ziffern ist auf 0.18 cm voreingestellt und kann im Menü *Bearbeiten → Optionen → Plotoptionen → Größe* (plogeo.ini-Befehl HWER) geändert werden.

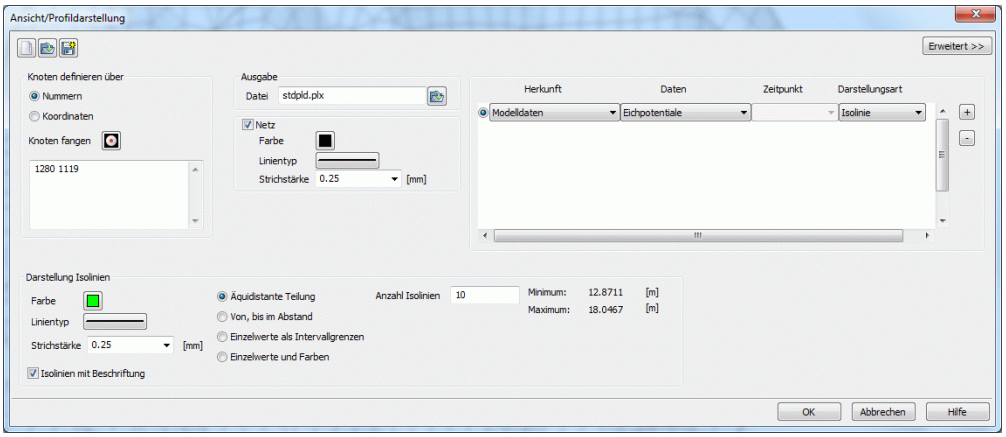
Wenn in den Plot-Optionen (S. **90**) das entsprechende Kontrollkästchen aktiviert ist, wird bei der Verrechnung der Messdaten mit anderen Daten eine ASCII-Datei *DiffEich.txt* angelegt, in der die x- und y-Koordinaten, die Differenz, der Messwert und der berechnete Wert im Format (6X, F10.2, F10.2, F10.3, F10.3, F10.3) gespeichert werden. Diese Datei kann zur Erstellung eines Scatter-Plots (gemessene / berechnete Werte als x/y-Diagramm) z.B. mit Excel verwendet werden.

Die Einzelheiten der Darstellung von Flächen, Schraffur, Isolinie etc. werden im Kapitel „Darstellungsarten“ auf S. 365 ausführlich beschrieben.

Die erweiterten Einstellungen werden im Kapitel „Erweiterte Einstellungen“ auf S. 379 ausführlich beschrieben.

8.2 Ansicht/Profildarstellung

Durch Auswahl dieses Menüpunktes kann ein Vertikalschnitt erzeugt werden. Es erscheint folgendes Eingabefenster. Bis auf den linken Eingabeblock ist dieses nahezu identisch mit dem Eingabefenster für eine Draufsicht/Kartendarstellung:



Sollen Daten in einem Vertikalschnitt dargestellt werden, muss zunächst die Lage des Schnittes definiert werden (Batch-Befehl VERT).

Dazu gibt es zwei Möglichkeiten:

- Nummern

Die Lage des Schnittes wird über Knotennummern festgelegt. Diese können interaktiv in der SPRING-Oberfläche gewählt werden (*Knoten fangen*).

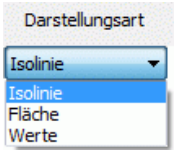
- Koordinaten

Die Lage des Schnittes wird über x-, y-Koordinaten definiert. Die Koordinatenpaare können direkt in die erscheinende Tabelle eingegeben werden oder interaktiv in der SPRING-Oberfläche gewählt werden.

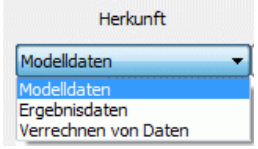
Anmerkung:

Werden Koordinaten statt Knotennummern verwendet, so werden von SPRING zu den eingegebenen Koordinaten die am nächsten liegenden Knoten bestimmt und der Schnitt dann durch diese Knoten und nicht genau durch die eingegebenen Koordinaten gelegt!

Des Weiteren entsprechen die Eingabeblöcke im Wesentlichen denen, die in der Draufsicht/Kartenerstellung beschrieben sind. Es sind geringfügige Einschränkungen bei den einzelnen Darstellungsarten zu beachten. So sind bei Knotendaten nur die folgenden Darstellungsarten möglich:



Das Darstellen von Messdaten ist bei einem Vertikalschnitt nicht möglich:



Nach Erstellen eines Vertikalschnittes (*name.plx*) wird automatisch eine Strukturdatei (*name.str*) geschrieben, die die Koordinaten der Schnittspur enthält. Diese Datei kann durch Import der Struktur oder Überlagerung der Datei in einer Draufsicht die Schnittspur des Vertikalschnittes markieren.

Die Einzelheiten der Darstellung von Flächen, Schraffur, Isolinie etc. werden im Kapitel „Darstellungsarten“ auf S. 365 ausführlich beschrieben.

Die erweiterten Einstellungen werden im Kapitel „Erweiterte Einstellungen“ auf S. 379 ausführlich beschrieben.

8.3 Darstellungsarten

Grundsätzlich gibt es folgende Darstellungsarten:

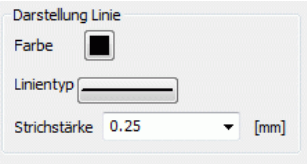
- Linie (S. 365)
- Isolinie (S. 366)
- Fläche (S. 370)
- Schraffur (nur Elementdaten) (S. 370)
- Werte auf S. 372 Kreise (S. 372)
- Punkte auf S. 373 Ganglinien (nur Knotendaten) (S. 373)
- Datenabhängige Besonderheiten (S. 376)

Die bei jeder Darstellungsart spezifischen Eingabemöglichkeiten, die zum Teil von der gewählten Datenart abhängen, werden in den folgenden Kapiteln ausführlich beschrieben. Datenabhängige Besonderheiten bei der Darstellung werden im gleichnamigen Kapitel beschrieben.

8.3.1 Linie

Die Darstellungsart Linie ist nicht frei wählbar, sondern für die Darstellung des Netzrands, der Knoten- und Elementnummern, Markierungen, sowie Geschwindigkeiten und 2D-Klüfte voreingestellt.

- Netzrand (Batch-Befehl RAND)



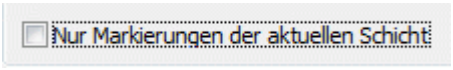
Für den Netzrand können die Farbe, der Linientyp und die Strichstärke frei bestimmen werden.

- Elementnummern, Knotennummern (Batch-Befehle KNNR, ELNR)

Bei der Plotausgabe von Elementnummern bzw. Knotennummern lassen sich die Farbe und die Größe einstellen.

- Markierungen (Batch-Befehl MARK)

  Für die im Modell vorhandene Markierungen können eine Farbe, ein Linientyp und eine Strichstärke gewählt werden. Bei einem 3D-Modell gibt es ein zusätzliches Kontrollkästchen.

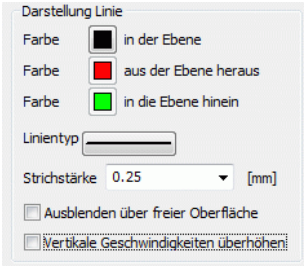


  Bei Aktivierung des Kontrollkästchens werden nur die Markierungen der unter Ausgabe felstgelegten Schicht geplottet, ansonsten werden alle definierten Markierungen im Plot dargstellt.

- Geschwindigkeiten (Batch-Befehl GESC)

  Bei der Darstellung der Geschwindigkeiten können die Farbe, der Linientyp und die Strichstärke frei bestimmt werden.

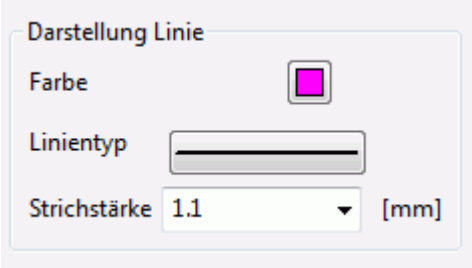
  Sollen Geschwindigkeiten eines 3D-Modells in einem Vertikalschnitt dargestellt werden, erscheint folgender Eingabeblock:



Bei einem Vertikalschnitt durch ein 3D-Modell werden die Geschwindigkeitspfeile immer mit drei Farben dargestellt. Weicht die Richtung der Resultierenden der Geschwindigkeitskomponenten nicht mehr als 20 Grad aus der Schnittebene ab, wird die erste Farbe verwendet (in der Ebene). Zeigt die Resultierende aus der Schnittebene heraus, wird die zweite Farbe verwendet. Zeigt die Resultierende in die Ebene hinein, wird die dritte Farbe verwendet.

Die erste Farbe kann vom Anwender ausgewählt werden. Die beiden anderen Farben werden Programm-intern vergeben und werden hier zur Vorschau angezeigt.

- 2D-Klüfte (Batch-Befehl KL2D)



Für eine 2D-Kluft können die Farbe, der Linientyp und die Strichstärke frei bestimmen werden. Beispiel von 2D-Kluft-Schnittspuren in einem 3D-Modell:

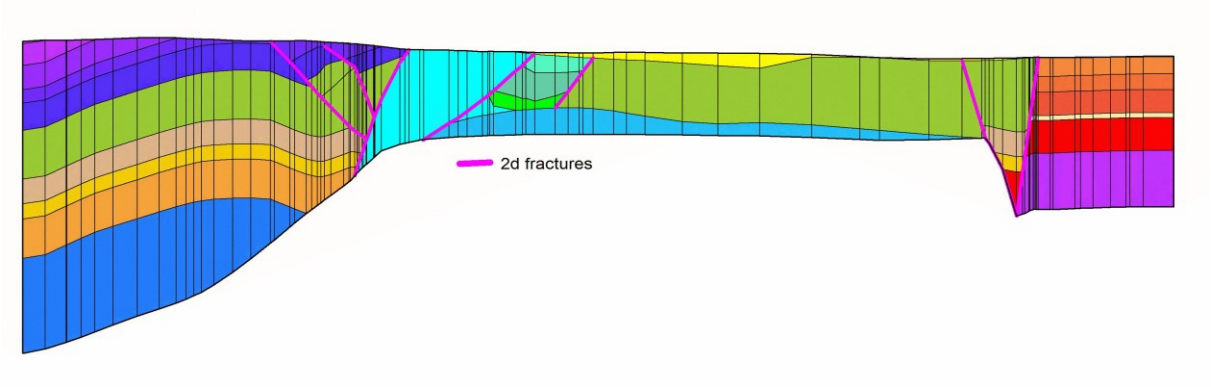


Abb. 227: 2D-Kluft-Schnittspuren im Vertikalschnitt

8.3.2 Isolinie

Als Isolinie können alle Knoten und Element Attribute/Daten dargestellt werden, die vollständig/flächendeckend definiert sind. Grundsätzlich wird zwar die Darstellung von Elementdaten als Isolinien angeboten, sie ist aber nicht immer aussagekräftig (z.B. K-Werte).

Im linken Teil des Eingabeblocks können die Voreinstellungen zu Farbe, Linientyp und Strichstärke der Isolinien beliebig geändert werden. Die Beschriftung der Isolinien kann durch Deaktivieren des Kontrollkästchens ausgeschaltet werden. Ansonsten werden die Isolinien automatisch mit den Werten beschriftet. Die Beschriftungstexte werden nicht als editierbare Texte, sondern als in Polylines umgesetzte Ziffern dargestellt. Die Höhe dieser Ziffern kann bei Bedarf im Menü *Bearbeiten → Optionen → Plotoptionen → Isolinien* (S. **93**) geändert werden. (plogeo.ini-Befehl HISO).

Sollen Daten als Isolinien (Batch-Befehl ISOL) dargestellt werden, gibt es vier verschiedene Möglichkeiten, die Werte einzuteilen:

- Äquidistante Teilung (S. 367)
- Von, bis im festen Abstand (S. 367)
- Einzelwerte als Intervallgrenzen (S. 367)

- Einzelwerte und Farben (S. 367)

Im rechten Teil des Eingabeblocks werden die Extremwerte der gewählten Datenart zur Orientierung protokolliert.

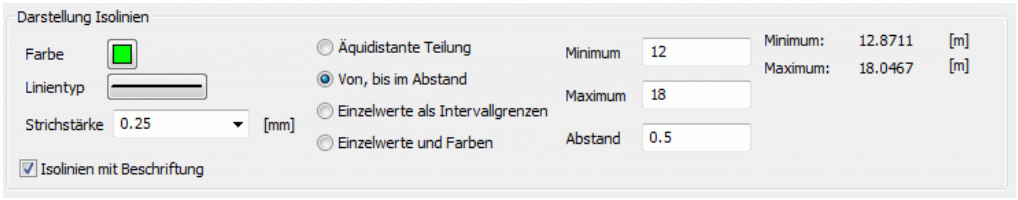
8.3.2.1 Äquidistante Teilung

Der Eingabeblock sieht folgendermaßen aus:

Bei der äquidistanten Einteilung wird die Anzahl der gewünschten Isolinien abgefragt. Das Intervall von Minimum bis Maximum wird gleichmäßig mit dieser vorgegebenen Anzahl unterteilt.

8.3.2.2 Einteilung von, bis im Abstand

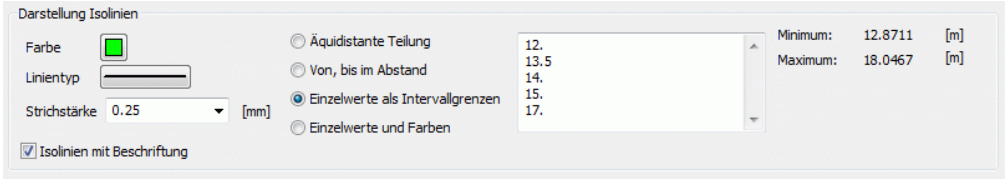
Der Eingabeblock sieht folgendermaßen aus:



Bei der Einteilung von, bis im Abstand werden ein Minimalwert und ein Maximalwert sowie der Abstand der Isolinien [m] abgefragt.

8.3.2.3 Einteilung mit Einzelwerten als Intervallgrenzen

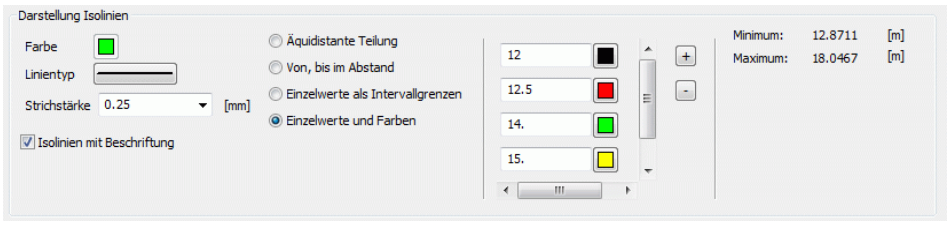
Der Eingabeblock sieht folgendermaßen aus:



Bei der Einteilung mit Einzelwerten als Intervallgrenzen werden die gewünschten Isolinienwerte in einem separaten Fenster eingegeben. Mehrere Werte werden getrennt durch Komma, Leerzeichen oder Semikolon eingegeben. Das Dezimalzeichen bei den Werten muss ein Punkt sein.

8.3.2.4 Einteilung mit Einzelwerten und Farben

Der Eingabeblock sieht folgendermaßen aus:



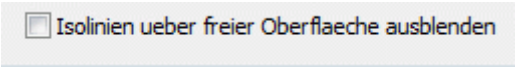
Bei der Einteilung mit Einzelwerten und Farben werden die gewünschten Isolinienwerte mit den entsprechenden Farben in einem separaten Fenster eingegeben. Die Farbauswahl im linken Teil des Eingabebereiches ist deaktiviert und wird beim Plot nicht berücksichtigt.

Mit dem Plus-Button kann ein Intervall hinzugefügt werden, mit dem Minus-Button kann das letzte Intervall gelöscht werden.

8.3.2.5 Besonderheiten

- Ausblenden von Isolinien oberhalb der freien Oberfläche

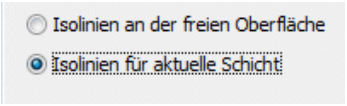
Isolinien können bei einem Vertikalschnitt oder Vertikalmodell oberhalb der freien Oberfläche ausgeblendet werden.



- Potentiallinien in einem 3D-Modell

Bei der Darstellung von Potential-Isolinien in einem 3D-Modell ist nicht unbedingt bekannt, für welche horizontale Schnittebene die Potentiale in der gesättigten Zone liegen.

Unabhängig von der eingestellten Schnittebene können die Potentiale bei einem Horizontalschnitt durch ein 3D-Modell an der freien Oberfläche (1. von oben, falls es mehrere gibt) dargestellt werden!

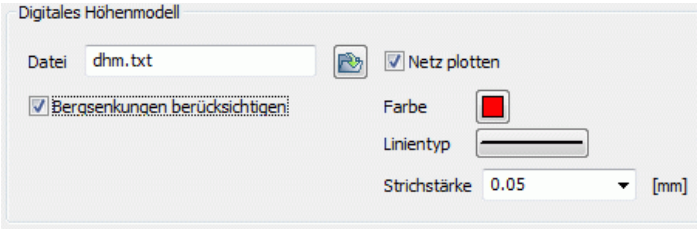


- Darstellung mit einem digitalen Höhenmodell

Steht für das Modell ein digitales Höhenmodell (DHM) zur Verfügung, können Geländeoberfläche (Modelldaten) und Flurabstände (Ergebnisdaten) bei der Darstellung von Isolinien oder Flächen auf Basis dieses DHMs geplottet werden. Hierfür muss das DHM im Strukturdatenformat (ASCII) vorliegen.

Bei dem Geländehöhen-Plot wird statt der Datenart GELA das DHM dargestellt. Für die Darstellung der Flurabstände werden diese durch Verrechnung des DHM mit den Ergebnispotentialen bestimmt. In beiden Fällen wird automatisch ein Hilfsnetz auf Basis des DHM und der Modellknoten erstellt, so dass das Erstellen eines solchen Plots je nach Größe der Datensätze und zur Verfügung stehender Rechenkapazität ggf. einige Zeit in Anspruch nimmt.

Es ist möglich, das resultierende Hilfsnetz darzustellen (aktivieren des Kontrollkästchens *Netz*). Für das Netz kann eine Farbe, ein Linientyp und eine Strichstärke vorgegeben werden.



Wenn in der Modelldatei Bergsenkungsdaten vorhanden sind (Attribut BERG), ist es möglich, das digitale Höhenmodell ggf. mit den Bergsenkungen aus dem Modell abzusenken.

Der Nutzen der Flurabstandsberechnung auf Grundlage des DHM lässt sich anhand des folgenden Modellbeispiels veranschaulichen:

Bei dem abgebildeten Bachlauf (Attribute VORF und LERA) handelt es sich um ein Gewässer, dessen Sohle im Rahmen einer Gewässerumgestaltung (z.B. Renaturierung) angehoben werden soll. Dadurch ist im Einflussbereich des Bachlaufs mit einem Grundwasseranstieg zu rechnen. Zur Beweissicherung wird daher für den heutigen Ausgangszustand (= der im Modell abgebildete!) eine Bewertung der Flurabstandssituation vorgenommen. Als kritisch werden bebaute Flächen angesehen, die bereits im Ausgangszustand z.B. Flurabstände unter 1.5 m aufweisen.

Zur Verdeutlichung der größeren Genauigkeit, die man durch die Berechnung der Flurabstände mit dem DHM erhält, wurde nach der Strömungsberechnung jeweils ein Flurabstandsplot ohne und mit Verwendung des Digitalen Höhenmodells erstellt.

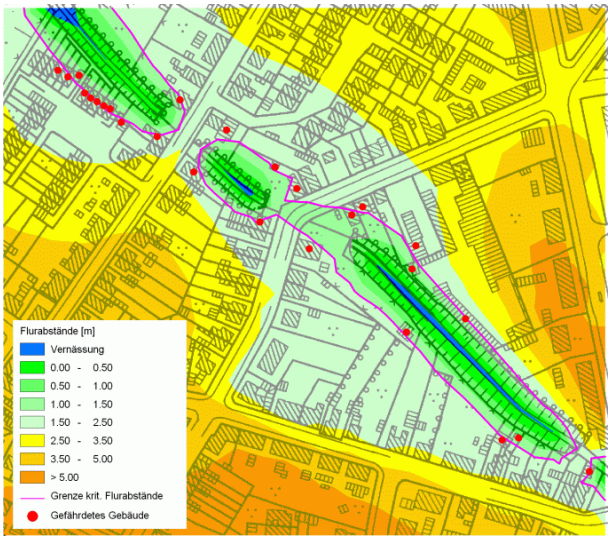


Abb. 228: Ergebnis der Flurabstandsberechnung ohne Verschneidung mit dem DHM (26 Gebäude sind betroffen)

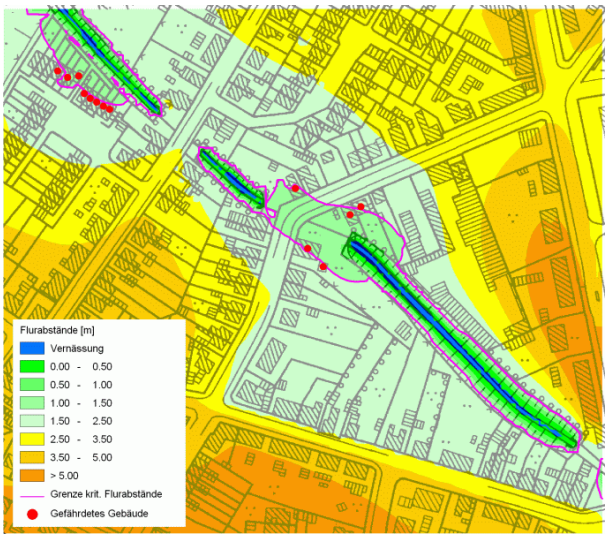


Abb. 229: Ergebnis der Flurabstandsberechnung mit Verschneidung mit dem DHM (13 Gebäude sind betroffen)

Auf der Basis des Digitalen Höhenmodells ist nur die Hälfte der Gebäude als kritisch einzustufen.

Der enorme Genauigkeitsunterschied ergibt sich durch die um ein Vielfaches höhere Rasterdichte des DHMs (hier: 5 x 5 m - Raster) gegenüber der Dichte der FE-Netzknoten, deren ungefährer Abstand in diesem Modell bei ca. 30-50 m liegt.

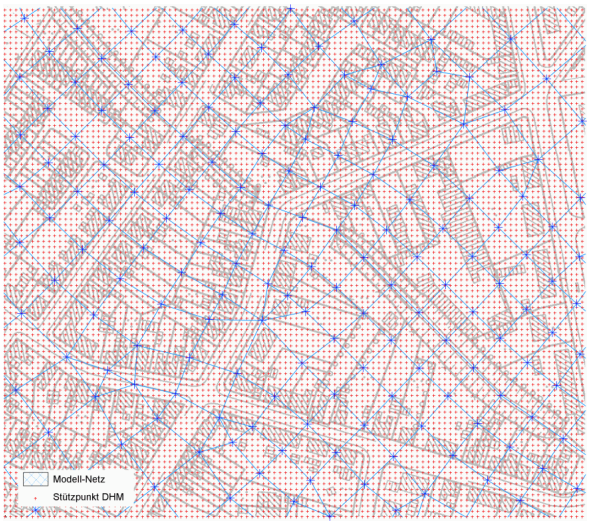


Abb. 230: Gegenüberstellung der Dichte der Netzknoten (blau) zur Dichte der DHM-Rasterknoten (rot)

8.3.3 Fläche

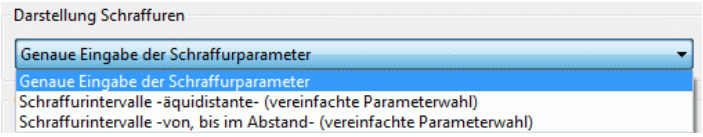
Eine Flächendarstellung bedeutet das Einfärben von Flächen zwischen gedachten Isolinien.

Durch Anklicken der Farbauswahl lassen sich verschiedene Farbskalen zum Einfärben der Intervalle auswählen:

Die Einteilung der Werte ist analog zu den im Kapitel „Isolinien“ auf S. 366 beschriebenen Intervallen.

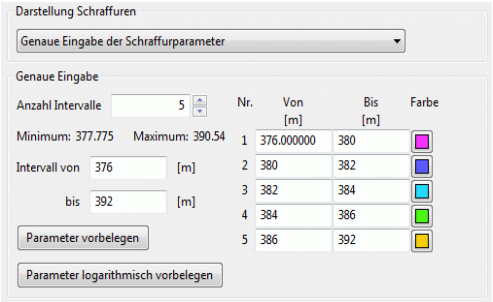
8.3.4 Schraffur (nur Elementdaten)

Im ersten Untermenü zur Festlegung der Parameter zur Schraffurdarstellung (Batch-Befehl SCHR) (vgl. Eingabemaske unten) wird festgelegt, ob die Schraffurparameter genau eingegeben werden sollen oder ob eine vereinfachte Parameterwahl in äquidistanter Form oder durch Angabe eines unteren und oberen Wertes mit Abstand erfolgen soll.



- Genaue Eingabe der Schraffurparameter

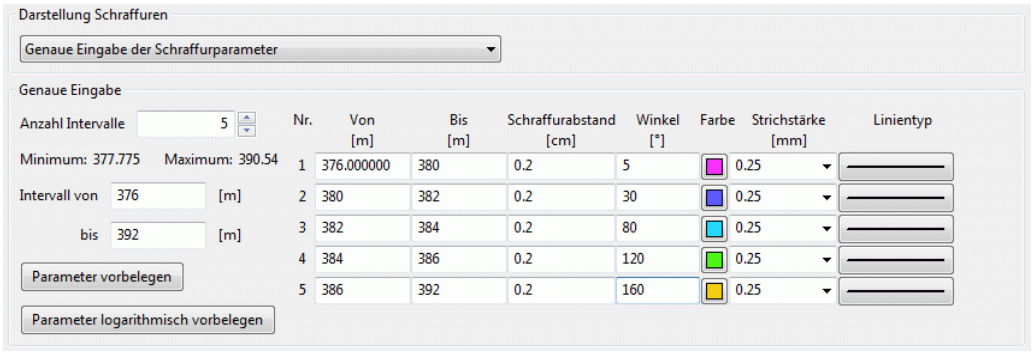
Die Auswahl der genauen Eingabe bietet die meisten Möglichkeiten, die Schraffur zu beeinflussen:



Nach Eingabe der *Anzahl der Intervalle* und der unteren und oberen Schranke (von, bis) werden nach Drücken einer der beiden Tasten *Parameter vorbelegen* oder *Parameter logarithmisch vorbelegen* die Werte in den Intervallklassen vorbelegt. Sie können übernommen oder geändert werden.

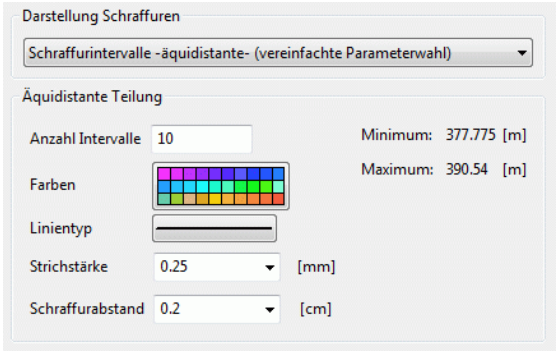
Es ist möglich, maximal 30 Intervalle zu definieren.

Über den SPRING-Menüpunkt *Bearbeiten → Optionen → Plotoptionen → Allgemein* wird (plogeo.ini-Befehl FLAE) festgelegt, ob die Schraffurdarstellung wirklich als Linienschraffur ausgeführt wird oder ob die einzelnen Elemente flächenhaft eingefärbt werden. Voreingestellt ist die flächenhafte Einfärbung (Parameter FLAE =1). Bei der Linienschraffur sind zusätzlich die Eingaben des Schraffurabstands, des Winkels und der Strichstärke erforderlich.



- Äquidistante (vereinfachte) Parameterwahl

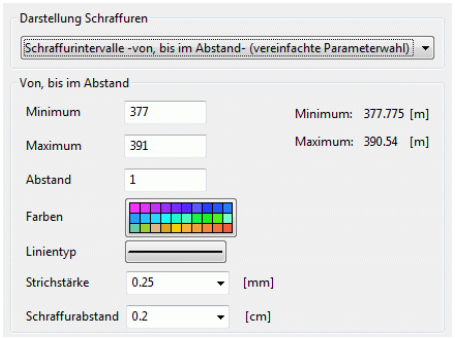
In der Eingabemaske für die äquidistante Einteilung wird die Anzahl der gewünschten Werte-Intervalle abgefragt. Das Intervall von Minimum bis Maximum wird gleichmäßig unterteilt.



Linientyp, Strichstärke und Schraffurabstand kommen nur zum Zug, falls bei der Darstellung der Schraffuren wirklich Schraffuren verwendet werden und nicht nur eine flächenhafte Einfärbung der Elemente vorgenommen wird (plogeo.ini-Befehl FLAE auf S. **91**).

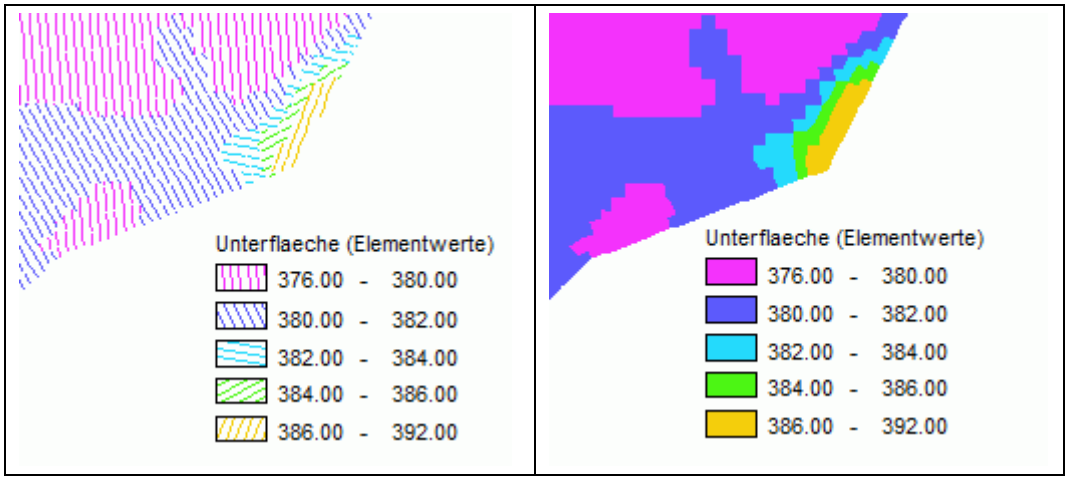
- Von, bis (vereinfachte) Parameterwahl

In der Eingabe für eine Parameterwahl vom Typ "von, bis, im Abstand" werden ein Minimalwert, ein Maximalwert sowie der Abstand für die Schraffur-Intervalle abgefragt.



Linientyp, Strichstärke und Schraffurabstand kommen nur zum Zug, falls bei der Darstellung der Schraffuren wirklich Schraffuren verwendet werden und nicht nur eine flächenhafte Einfärbung der Elemente vorgenommen wird (plogeo.ini-Befehl FLAE).

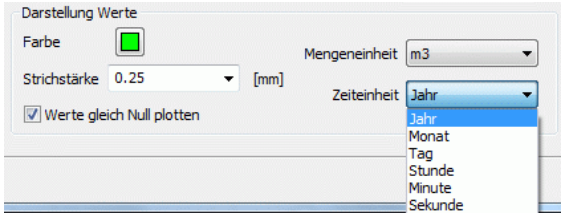
Die folgenden Abbildungen zeigen die Darstellung einer Modellunterflächen als Linienschraffur (plogeo.ini-Parameter FLAE =0, links) und flächenhafte Schraffur (plogeo.ini-Parameter FLAE =1, rechts).



8.3.5 Werte

Knoten- und Elementdaten können als Werte dargestellt werden. Die Werte, die an den Knoten bzw. Elementmittelpunkten dargestellt werden, sind keine Texte, sondern Ziffern als Polylines. Die Ziffernhöhe ist im Menü *Bearbeiten → Optionen → Plotoptionen* auf 0,18 cm voreingestellt (plogeo.ini-Befehl HWER auf S. **92**).

Im Eingabeblock kann eine Farbe ausgewählt und die Strichstärke vorgegeben werden. Bei der Darstellung von Mengendaten wird neben der im Hintergrund gespeicherten Einheit m^3/?/ZE (ZE = Zeiteinheit der Netzdatei) auch die Umrechnung der Daten in anderen Mengen- und Zeiteinheiten angeboten.



Durch Aktivieren des Kästchens *Werte gleich Null plotten* werden diese Werte explizit dargestellt, ansonsten werden Werte gleich Null ignoriert und nicht geplottet.

8.3.6 Kreise

Knotendaten, die nicht flächendeckend definiert sind, können als Kreise dargestellt werden.

Die Werte an den Knoten bzw. Elementmittelpunkten werden mit Ziffern aus Polylines dargestellt. Die Höhe der Ziffern ist im Menü *Bearbeiten → Optionen → Plotoptionen* auf 0,18 cm voreingestellt (plogeo.ini-Befehl HWER auf S. **92**).

Im Eingabeblock kann eine Farbe für positive Werte ausgewählt und die Strichstärke vorgegeben werden. Die Farbe für die negativen Werte kann vom Anwender nicht ausgewählt werden. Dies ist programmintern festgelegt. Die Anzeige der Farbe für die negativen Werte ist als Vorschau auf das Ergebnis zu verstehen.

Bei der Kreisdarstellung kann die Kreisskalierung manuell durch die Eingabe eines Skalierungswertes für die Kreisgröße von 1.0 cm fest definiert werden. So bleiben z.B. Darstellungen von Reaktionsmengen in verschiedenen Horizontalschichten eines 3D-Modells vergleichbar.

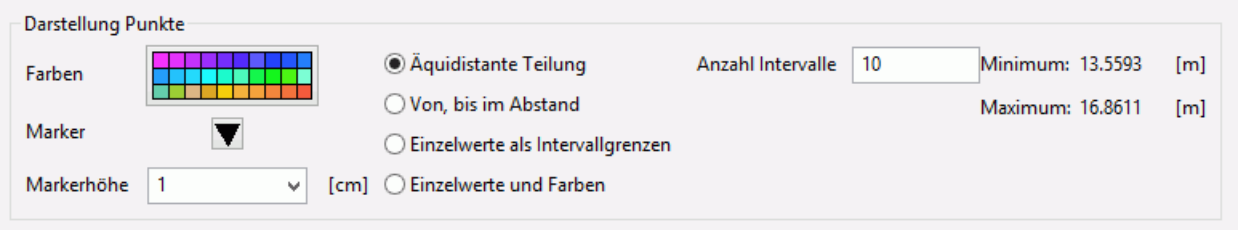
Wird die Kreisskalierung nicht manuell definiert, berechnet SPRING eine maximale Kreisgröße für den größten Wert im aktuellen Plot. Diese maximale Kreisgröße kann alternativ dazu im Menü *Bearbeiten → Optionen… → Plotoptionen → Größen* festgelegt werden (plogeo.ini-Befehl RADI auf S. **92**).

Bei der Darstellung von Mengendaten wird neben der im Hintergrund gespeicherten Einheit m^3/?/ZE (ZE = Zeiteinheit der Netzdatei) auch die Umrechnung der Daten in anderen Mengen- und Zeiteinheiten angeboten.

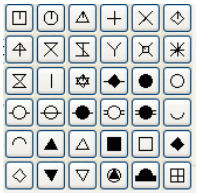
Durch Aktivieren des Kästchens *Werte gleich Null plotten* werden diese Werte explizit dargestellt, ansonsten werden Werte gleich Null ignoriert und nicht geplottet.

8.3.7 Punkte

Knotendaten, die nicht flächendeckend definiert sind, können als Punkte dargestellt werden. Durch Auswahl dieser Darstellungsart wird an den entsprechenden Knoten ein Marker dargestellt, der je nach Größe des Attributwertes eine bestimmte Farbe hat. Dies bietet sich insbesondere bei punktuellen Daten wie Brunnenentnahmen (Attribut KNOT), oder Leakagekoeffizienten (Attribute LERA, LEKN) an.



Im Eingabeblock kann aus der Markerliste ein Markertyp ausgewählt werden. In dem Eingabefeld Markerhöhe wird die Größe des Markers festgelegt.

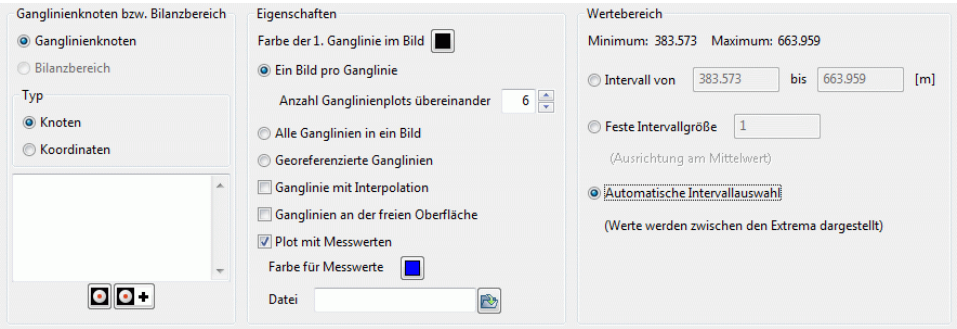


Die Einteilung der Werte ist analog zu den im Kapitel „Isolinien“ auf S. 366 beschriebenen Intervallen.

8.3.8 Ganglinie

Ein Ganglinienplot (Batch-Befehl GANG) ist erst nach einer instationären Berechnung für Knoten- oder Elementdaten möglich.

Nach Auswahl der Darstellungsart *Ganglinie* erscheint folgender Eingabebereich:



Ganglinienknoten bzw. Bilanzbereich

Bei Auswahl von *Ganglinienknoten* werden die Nummern der Knoten oder Koordinaten angegeben, zu denen Ganglinien geplottet werden sollen. Werden Koordinaten gewählt, wird die Ganglinie für den nächstliegenden Knoten erstellt.

Die Auswahl von *Bilanzbereich* ist möglich, wenn Knoten bzw. Elemente über Bilanzbereiche (Attribute BILK, BILE) zusammengefasst wurden. Mengen-Ganglinien werden dann für Bilanzbereichsnummern angegeben.

Die Eingabe ist formatfrei mit beliebig vielen Werten pro Zeile. Die einzelnen Nummern müssen durch ein Blank oder ein Komma getrennt werden. Es besteht durch Aktivierung des Buttons die Möglichkeit, die Nummern der Ganglinienknoten oder die Koordinaten in der SPRING-Oberfläche zu picken. Will man weitere Knoten oder Koordinaten hinzufügen, wählt man den Button .

Im 3D-Fall können nur die Knoten bzw. Elemente der obersten Schicht gepickt werden. Nummern tieferer Schichten sind durch Nachbearbeitung im Textfeld (Ergänzen der Nummern um ein entsprechendes Vielfaches des 3D-Nummernoffsets) anwählbar.

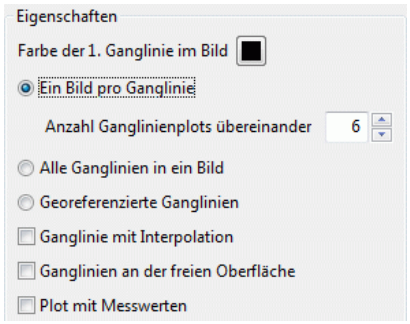
Eigenschaften

- Farbe

Vom Anwender kann nur die Farbe der 1. Ganglinie ausgewählt werden. Werden in einem Diagramm mehrere Ganglinien geplottet, erfolgt die Festlegung der Farbe programmintern. Bei den folgenden Ganglinien wird jeweils die in der Farbpalette darauf folgende Farbe verwendet.

Die Ganglinien können auf drei unterschiedliche Arten dargestellt werden.

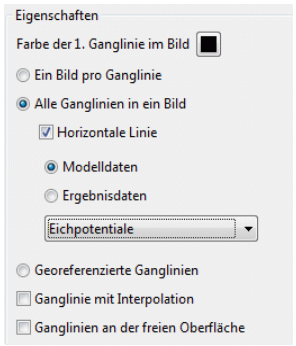
- Ein Bild pro Ganglinie



Bei Auswahl dieser Darstellungsart wird die Anzahl der Ganglinienplots übereinander festgelegt. Die Angabe definiert, wie viele einzelne Ganglinienplots im Ergebnisplot übereinander in einer Spalte dargestellt werden. Bei z.B. 36 einzelnen Ganglinien und der Angabe 9 in diesem Fenster, werden im Ergebnisplot 4 Spalten mit jeweils 9 Ganglinienplots übereinander dargestellt.

- Alle Ganglinien in ein Bild

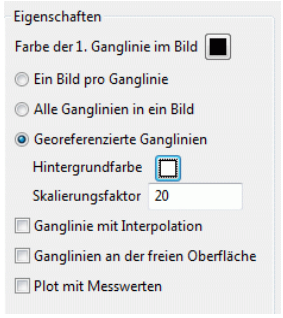
Sollen die Ganglinien nicht jede für sich, sondern alle in ein Bild gezeichnet werden, erscheint bei Aktivieren des Kontrollkästchens folgende Eingabemöglichkeit



Als horizontale Linie kann z. B. ein (stationärer) Eichpotentialwert des 1. gewählten Knotens dargestellt werden. Hierzu werden die Modelldaten aktiviert und z. B. die Datenart Eichpotentiale ausgewählt.

Die gewählte Farbe wird für die erste Ganglinie verwendet. Bei den folgenden Ganglinien wird jeweils die in der Farbpalette darauf folgende Farbe verwendet.

- Georeferenzierte Ganglinien



Bei Auswahl dieser Darstellungsart werden an den ausgewählten Knoten/Elementen georeferenzierte Ganglinendiagramme erstellt. Als weitere Eingaben sind eine Hintergrundfarbe zu wählen und ein Skalierungsfaktor

anzugeben. Wird als Hintergrundfarbe die Farbe "schwarz" gewählt, erhält die Ganglinie einen transparenten Hintergrund, bei der Wahl von „weiß“ ist der Hintergrund „deckend“.

Der Skalierungsfaktor beeinflusst die Bildgröße des Gangliniendiagramms und sollte nicht größer als 10 sein.

Anmerkung:

Wurde auf diese Weise eine *.plx-Datei erzeugt, die mehrere georeferenzierte Ganglinien enthält, müssen einige Bearbeitungsschritte durchgeführt werden, bevor diese Datei überlagert werden kann. Jedes einzelne Ganglinien-Diagramm stellt eine eigene *.plx-Karte dar, deren linke untere Ecke der Lage des Bezugsknotens entspricht, d.h. die Koordinaten der linken unteren Ecke entsprechen dem Knoten, für den die Ganglinie erstellt wurde. Bei Elementdaten gilt dies für den Elementmittelpunkt.

Eine solche *.plx-Datei kann im Modus Plotdatei durch folgendes Vorgehen in eine einzelne Karte transformiert werden, die dann z.B. über eine topographische Karte überlagert werden kann:

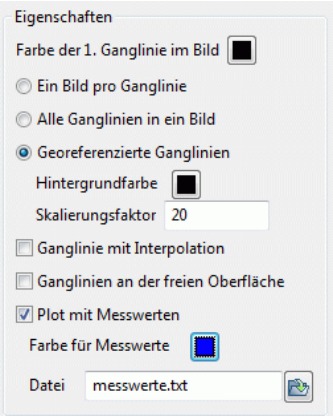
- Über den Menüpunkt *Karte → Reduzieren → Auf eine Karte* werden alle Karten (= Ganglinien) auf eine Karte reduziert. Es spielt dabei keine Rolle, welche Karte als Basis gewählt wird.
- Über den Menüpunkt *Karte → Bearbeiten → Maßstab korrigieren* werden beide Maßstabsfaktoren auf den hundertfachen Skalierungsfaktor des Eingabefensters gesetzt.
- Über den Menüpunkt *Karte → Bearbeiten → Skalieren → Skalieren mit Attributen* wird die Karte auf den Zielmaßstab skaliert, also auf den Maßstab der Karte, über die diese Datei später überlagert werden soll. Danach muss die Datei gespeichert werden.
- Die derart manipulierten Ganglinien werden dann so über die Zielkarte überlagert (*Datei → Importieren → Überlagern…*), dass ihr linker unterer Eckpunkt bzgl. der Zielkarte georeferenziert ist.
- Interpolation

Die einzelnen Ganglinienwerte können entweder linear (deaktiviertes Kontrollkästen) oder mit Hilfe einer Spline-Interpolation (aktiviertes Kontrollkästen) verbunden werden. Bei der Interpolation kann es bei abrupten Wertänderungen zu einem Über- oder Unterschwingen kommen.

- Ganglinien an der freien Oberfläche

Für Potential-Ganglinien können die Ganglinien bei Aktivierung des Kontrollkästchens an der (obersten) freien Oberfläche anstatt für die ausgewählte Schicht dargestellt werden (nur 3D-Modell).

- Plot mit Messwerten

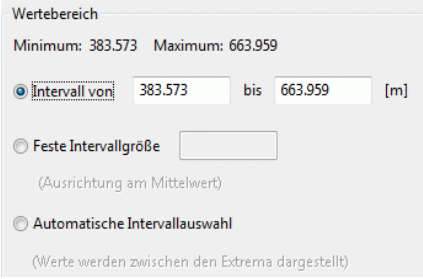


Wenn für jede Ganglinie ein Bild/Diagramm oder wenn georeferenzierte Ganglinien geplottet werden, können in die Darstellung der berechneten Ganglinien gemessene Sollwerte (z.B. für eine instationäre Kalibrierung) als zusätzliche Ganglinie dargestellt werden. Die Farbe wird über den Button ausgewählt. Der Name der Datei mit Sollwerten kann manuell eingegeben oder über das Dateiauswahlfenster gewählt werden.

Das Format der Sollwert-Datei ist im Kapitel „Datei mit Sollwerten für Gangliniendarstellung“ auf S. **37** ausführlich beschrieben.

Wertebereich

Zur formatierten Darstellung der Ganglinien lassen sich Wertebereiche, zwischen denen die Ganglinien angezeigt werden sollen, definieren.



- Intervall von, bis

Hier besteht die Möglichkeit, die genauen Ober- und Untergrenzen der Darstellung festzulegen.

Werden Grenzen eingetragen, die von einigen Werten der ausgewählten Ganglinienknoten überschritten bzw. unterschritten werden, ändert das Programm diese Grenzen automatisch.

- Feste Intervallgröße

Hier besteht die Möglichkeit, ein festes Intervall, das am Mittelwert der Gangliniendaten ausgerichtet wird, anzugeben.

- Automatische Intervallauswahl

Bei der automatischen Intervallauswahl wird jede Ganglinie genau zwischen ihren Extrema dargestellt.

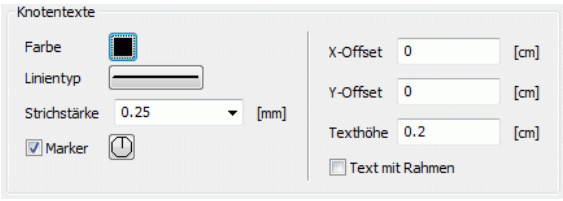
8.3.9 Datenabhängige Besonderheiten bei der Darstellung

Bei einigen Datenarten ist eine bestimmte Darstellungsart vorgegeben, die nicht verändert werden kann. Diese sind Knoten- und Elementtexte (KTXT, ETXT), gleiche Potentiale (GLEI) bei den Modelldaten, berechnete Kontrolllinienmengen und Strom- und Bahnlinien bei den Ergebnisdaten.

8.3.9.1 Darstellung von Knoten- und Elementtexten

Die unter der Datenart KTXT bzw. ETXT angegebenen Knoten- bzw. Elementtexte können unter *Modelldaten* zur Darstellung ausgewählt werden. Es erscheint folgender Eingabeblock:

(Batch-Befehle KTXT bzw. ETXT):



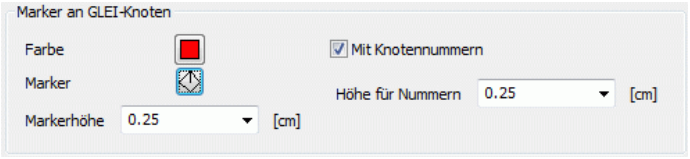
Die grafischen Darstellungsmöglichkeiten für Knoten- und Elementtexte sind identisch.

Die Auswahl einer Farbe und eins Linientyps sowie die Eingabe einer Strichstärke sind zu tätigen. Bei Aktivierung des Kontrollkästchens „Marker“ wird im späteren Plot am Knoten bzw. am Elementmittelpunkt der ausgewählte Markertyp dargestellt.

Durch die Eingabe eines X- und Y-Offsets kann der Abstand des Textes in cm vom Knoten bzw. Elementmittelpunkt gewählt werden. Die Textgröße ist frei wählbar und auf Wunsch kann der Text mit einem Rahmen versehen werden.

8.3.9.2 Marker an gleichen Potentialen

Die mit der Datenart GLEI auf gleiches unbekanntes Potential gesetzten Knoten können markiert werden. Es erscheint folgender Eingabeblock:

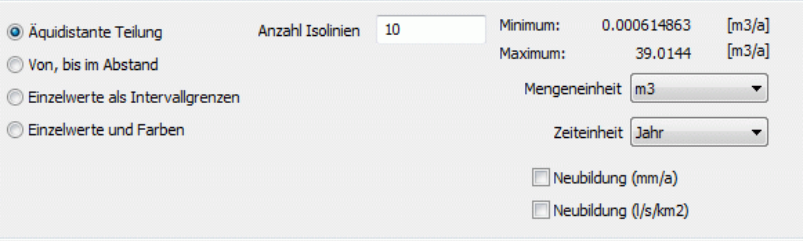


Für die Darstellung kann eine Farbe und ein Markertyp ausgewählt werden. Die Eingabe der Markerhöhe legt die Größe des Markers fest.

Die Knotennummern werden mit ausgegeben, wenn das Kontrollkästchen aktiviert ist. Dann ist auch die Höhe für die Knotennummern unabhängig von der Markerhöhe einzugeben.

8.3.9.3 Darstellung der Neubildung

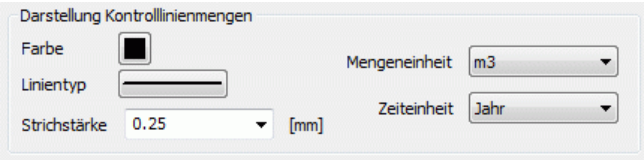
Sollen Neubildungsdaten dargestellt werden, erscheint unabhängig von der Darstellungsart eine zusätzliche Eingabemöglichkeit zur Bestimmung der darzustellenden Mengen:



Durch die Pfeiltasten können die Mengeneinheit (m³ oder Liter) und die Zeiteinheit (Jahr, Monat, Tag, Stunde Minute, Sekunde) beliebig bestimmt werden oder durch Aktivieren eines der beiden Kontrollkästchen die voreingestellte Einheit für die Neubildung gewählt werden. In dem Fall werden die anderen Möglichkeiten deaktiviert (ausgegraut).

8.3.9.4 Ergebnisse der Kontrolllinienberechnung

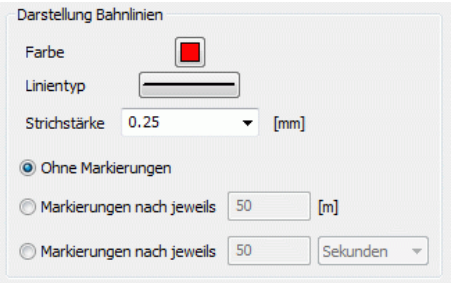
Wurde eine Kontrolllinienberechnung durchgeführt, erscheint nach entsprechender Auswahl folgender Eingabeblock:



Die Ergebnisse einer Kontrolllinienberechnung werden als Polygonzug mit Richtungspfeilen und der jeweiligen Mengenbeschriftung dargestellt (Batch-Befehl KONT). Hierfür ist eine Farbe und ein Linientyp auszuwählen sowie eine Strichstärke anzugeben. Die Mengeneinheit kann beliebig umgerechnet werden. Voreingestellt ist die Einheit m³ pro Zeiteinheit der Modelldatei.

8.3.9.5 Darstellung von Strom- oder Bahnlinien

Nach der Berechnung von Bahnlinien (Strömungsberechnung) oder Stromlinien (Datenexport) erscheint bei Auswahl der entsprechenden Datenart der folgende Eingabeblock. Dieser ist für Stromlinien und Bahnlinien identisch:



Neben den grafischen Eigenschaften Farbe, Linientyp und Strichstärke kann gewählt werden, ob nur die Linien dargestellt werden (ohne Markierungen) oder Markierungen (+) auf diese Linien gesetzt werden.

Die Markierungen können entweder jeweils nach einem einzugebenden Abstand [m] oder einer Zeitspanne gesetzt werden. Dabei kann die Zeitspanne wahlweise in Sekunden, Minuten, Stunden, Tagen, Monaten oder Jahren angegeben werden (Batch-Befehle BAHN bzw. STRO).

8.3.9.6 Vorflutwasserspiegel

Bei einem Vertikalschnitt kann (sofern Vorflutpotentiale über die Datenart VORF in der Modelldatei definiert wurden) die Lagehöhe des Vorflutwasserspiegels dargestellt werden (vergleichbar zur Lage der freie Oberfläche). Da in der Regel allerdings nicht an allen Knoten Vorflutwasserspiegel definiert sind, kann die Darstellung nur dort realisiert werden, wo der Schnitt entweder durch Elemente führt, deren Eckknoten alle mit Vorflutpotentialen (mindesten in einer Schicht bei 3D-Modellen) belegt sind, oder dort, wo der Schnitt entlang von Elementkanten oder Elementdiagonalen führt, bei denen beide Knoten mit Vorflutpotentialen belegt sind (Batch-Befehl VORF).

Es können die Farbe, der Linientyp und die Strichstärke beliebig bestimmt werden.

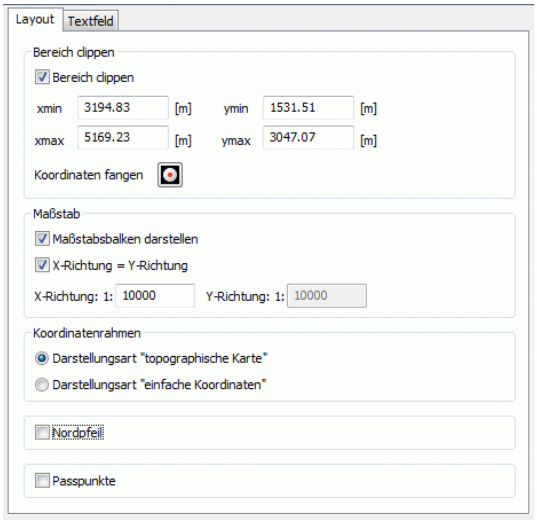
8.4 Erweiterte Einstellungen

Durch Aktivieren der Schaltfläche “Erweitert“ lassen sich weitere Parameter festlegen. Es erscheinen weitere Eingabemöglichkeiten für:

- Layout
- Textfeld

8.4.1 Layout

Einige Initialisierungsparameter für die Ploterstellung werden über das Layout-Fenster festgelegt:



Bereich clippen

Bei Wahl der Plotart Draufsicht/Kartenerstellung kann ein Ausschnitt (Batch-Befehl CLIP) durch das Clipping definiert werden. Hierfür ist das Kontrollkästchen „Bereich clippen“ zu aktivieren. In dem Fall wird statt der extremen maximalen Modellkoordinaten der definierte Ausschnitt für die Darstellung verwendet. Der Koordinatenrahmen wird entsprechend angepasst. Grafische Objekte, die über den Ausschnitt hinaus ragen, werden abgeschnitten.

Bei Wahl der Eingabe *Koordinaten fangen* , können interaktiv in der SPRING-Oberfläche zwei diagonal gegenüber liegende Punkte zur Bestimmung des Ausschnitts gefangen werden.

Maßstab

Jeder Horizontalplot kann durch einen Maßstabsbalken (Batch-Befehl MASS) ergänzt werden. Der Maßstabsbalken wird zentriert über dem Schriftfeld dargestellt. Bei unterschiedlichen Maßstäben in x und y-Richtung orientiert sich der Maßstabsbalken am Maßstab in x-Richtung. Bei Aktivierung des Kontrollkästchens „Maßstabsbalken darstellen“ wird ein Maßstabsbalken geplottet.

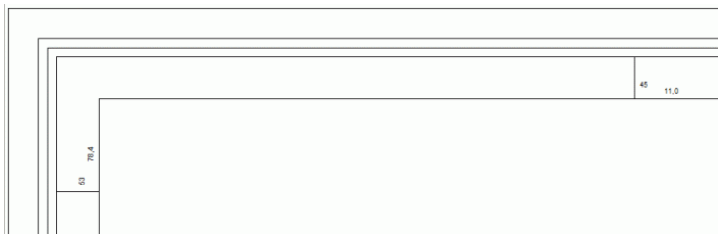
Der voreingestellt Maßstab des Plots richtet sich nach der Maßstabsangabe (Attribut MASS) in der Modelldatei. In den Textfeldern kann der Darstellungsmaßstab geändert werden. Soll die Darstellung in y-Richtung überhöht werden, ist vorher der Modus "x-Richtung = y-Richtung" abzustellen. Erst dann kann in y-Richtung ein anderer Maßstab gewählt werden als in x-Richtung. Die eingegebenen Maßstabsangaben werden in der Batchdatei durch den Batch-Befehl SKAL realisiert (Umrechnung in Skalierungsfaktoren).

Koordinatenrahmen

Jede Kartendarstellung wird mit einem Koordinatenrahmen versehen. Dabei kann zwischen zwei verschiedenen Darstellungen des Koordinatenrahmens gewählt werden (Batch-Befehl KOOR).

- Darstellungsart Topografische Karte

Dieser Koordinatenrahmen-Typ bietet sich bei topographischen Karten an, da diese in der Regel in Gauß-Krügerkoordinaten dargestellt werden.

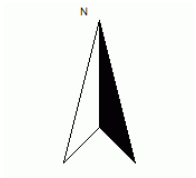


- Darstellungsart einfache Koordinaten

Dieser Koordinatenrahmen-Typ stellt einen Rahmen mit einer einfachen Beschriftung der Achsen mit Koordinaten dar.

Nordpfeil

Das Plotten eines Nordpfeils ist nur in der Draufsicht sinnvoll, gedrehte Koordinatensysteme werden hier nicht berücksichtigt. (Batch-Befehl NORD).

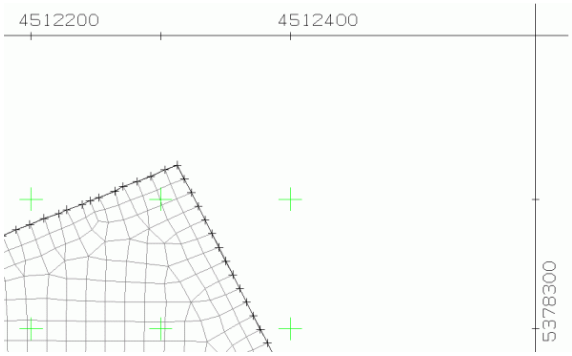


Der Nordpfeil wird zentriert über dem Schriftfeld dargestellt, wenn das Kontrollkästchen aktiviert ist.

Passpunkte

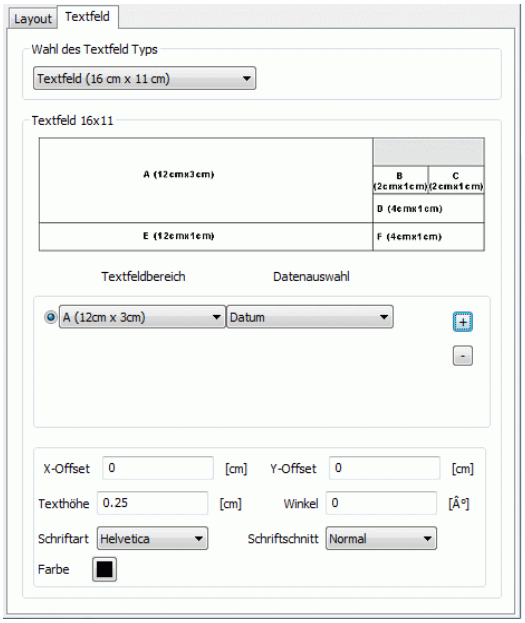
Durch Aktivieren des Kontrollkästchens *Passpunkte* werden Koordinatenkreuze in den Koordinatenrahmen dargestellt. Die Farbe ist voreingestellt auf Schwarz, sie kann nur direkt im Plot über *Layer → Farben ändern* geändert werden.

Beispiel für die Darstellung von Passpunkten (grün) in einem Plot:



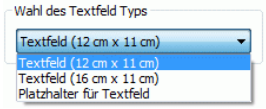
8.4.2 Textfeld

In diesem Eingabefenster kann das im Plot rechts unten erscheinende Textfeld definiert werden, wenn in den Plot-Optionen (S. **91**) eingestellt ist, dass ein Rahmen und ein Textfeld geplottet werden.



Wahl des Textfeldtyps

Es stehen drei Textfeldtypen zur Auswahl:

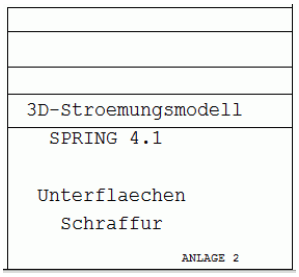


Beim **Textfeldtyp 1** (12 cm x 11 cm) erfolgt keine weitere Eingabe. Es wird ein vordefiniertes Textfeld im Plot abgebildet. Steht in der Modelldatei unter dem Attribut TEXT eine Beschriftung, wird diese im Textfeld übernommen. Beispiel:

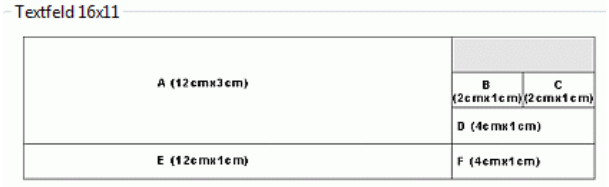
In der Modelldatei steht:

```
TEXT : Kastenbeschriftung im Plot
    .50  3D-Stroemungsmodell
     .5    SPRING 4.1
     .5
     .5   Unterflaechen
     .5     Schraffur
     .3                          ANLAGE 2
```

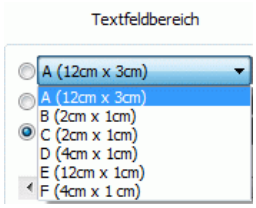
Das Textfeld im Plot sieht dann folgendermaßen aus:



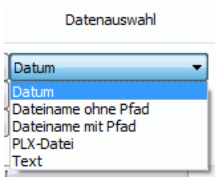
Beim **Textfeldtyp 2** (voreingestellt, 16 cm x 11 cm) kann dieses abgebildete Textfeld vom Anwender nach seinen Vorstellungen eingerichtet werden:



Zunächst wird über den Textfeldbereich das zu editierende Feld (A-F) ausgewählt:

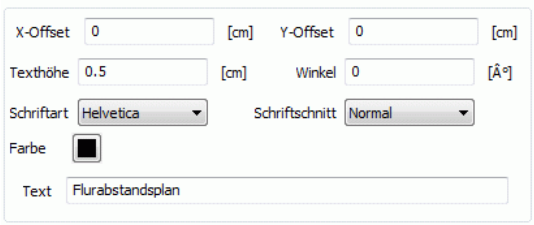


Dann wird dem Bereich die Art der Beschriftung zugeordnet. Hier steht zur Auswahl:



Durch den Plus- und Minus-Button können Eingaben erstellt bzw. gelöscht werden und so alle Textfeldbereiche (A bis F) editiert werden.

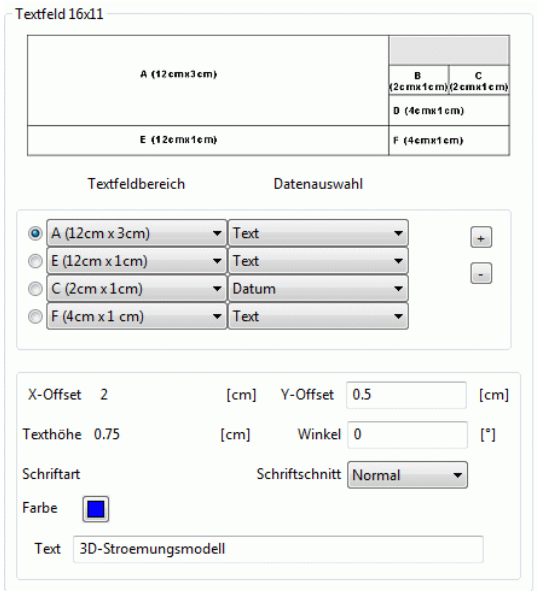
Im unteren Eingabebereich werden die Schriftart, -höhe, schnitt, der Winkel, die Farbe und das Offset für die Beschriftung festgelegt. Je nach Wahl der Datenart erscheint ein Texteingabefeld oder ein Dateiauswahlbereich:



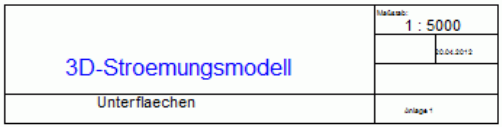
Ursprung für das Offset ist die linke untere Ecke des jeweiligen Textfeldbereiches (A bis F).

Beispiel:

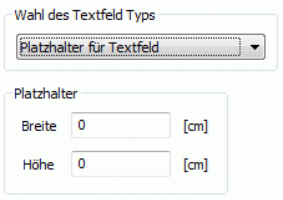
Für die folgenden Eingaben:



Ergibt sich das folgende Textfeld in einem Plot:

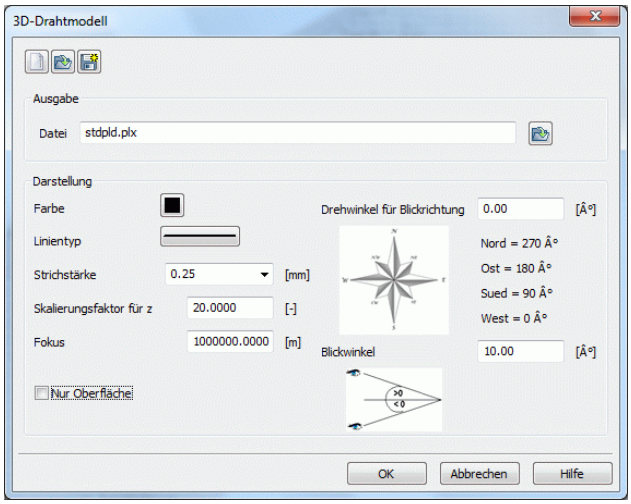


Beim **Textfeldtyp 3** wird über die Eingabe der Breite und Höhe ein Platzhalter für ein (noch nicht erstelltes) Textfeld definiert. Durch die Angabe einer Breite von z.B. 12 cm vergrößert sich der Abstand zwischen dem Koordinatenrahmen der Darstellung zum äußeren Plotrand auf 12 cm.


Wahl des Textfeld Typs
Platzhalter für Textfeld
Platzhalter
Breite
0
[cm]
Höhe
0
[cm]

8.5 3D-Drahtmodell

Bei einem 3D-Modell kann das FE-Netz dreidimensional dargestellt werden (Batch-Befehl NE3D).
Nach Auswahl dieses Menüpunktes erscheint folgendes Eingabefenster:



Die Buttons im Kopf des Eingabefensters ermöglichen das Zurücksetzen der Eingabeparameter ( ), das Öffnen einer vorhandenen Batch-Datei ( ) oder das Speichern der aktuellen Batch-Datei unter einem anderen Namen ( ).

Ausgabe

An dieser Stelle wird der Name der Ausgabedatei festgelegt. Über das Dateiauswahlfenster kann der Name einer bereits bestehenden *.plx-Datei geladen werden.

Darstellung

Die Netzdarstellung erfolgt einfarbig mit den anzugebenden Plotparametern Farbe, Linientyp und Strichstärke.

- Überhöhungsfaktor in z-Richtung

In der Regel muss der Plot etwas überhöht werden, um die Skalenunterschiede (Ausdehnung in z-Richtung zur Ausdehnung in (x, y)-Richtung) auszugleichen.

- Fokus

Der Fokus legt die Blick-Koordinaten, von denen aus auf das Modell geschaut wird, bezogen auf den Gebietsmittelpunkt fest. Ist der Abstand zu klein, können seltsame Bilder entstehen (z.B. Fischaugenperspektive).

- Nur Oberfläche

Bei Aktivierung dieses Kontrollkästchens wird nur die oberste Lage des Netzes dreidimensional dargestellt.

Voreingestellt ist jedoch, dass zusätzlich zur obersten Netzlage die "Seitenwände" des 3D-Netzes dargestellt werden. Dies ist auch bei einem 2D-Modell mit 3D-Teilbereich möglich.

- Drehwinkel für die Blickrichtung

Definition aus welcher Richtung geblickt werden soll (0 bis 360 Grad)

- Blickwinkel

Winkel in Grad aus der Horizontalen (positiv = Sicht von oben)

Die folgende Abbildung zeigt ein Horizontalmodell mit dreidimensionalem Teilbereich als 3D-Drahtmodell:

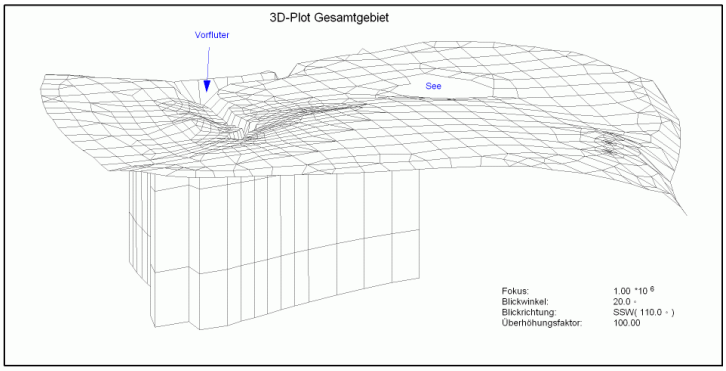


Abb. 231: 3D-Drahtmodell

8.6 Batchdatei der Ploterstellung

Der Aufruf des Ploterstellungs-Moduls PLOGEO kann auch direkt ohne die Eingabemaske über die Kommandozeile erfolgen, sofern eine Batch-Datei *.bpl im Verzeichnis vorhanden ist. Hierzu wird in das Verzeichnis gewechselt, in dem die Berechnung ausgeführt werden soll.

Die Eingabe von *plogeo* und dem Bestätigen mit der Enter-Taste führt dazu, dass das Modul PLOGEO gestartet wird und ein Plot entsteht. Der voreingestellte Batch-Datei-Name ist *plo.b*pl. Diese Datei wird im Verzeichnis gesucht. Mit dem Aufruf *plogeo Dateiname* kann aber auch eine andere Batch-Datei angegeben werden (die Erweiterung ".bpl" wird bei Bedarf automatisch angehängt). Die Batch-Datei kann von Hand mit einem beliebigen Editor erstellt oder verändert werden.

Die Batch-Datei der Ploterstellung ist befehlsorientiert, d.h., die Batch-Datei beinhaltet Befehlspakete, die immer mit einer Befehls-Erkennungszeile beginnen (die ersten 4 Zeichen = Name des Befehls in der Zeile). Sofern notwendig folgen der Befehls-Erkennungszeile eine oder mehrere fest definierter weiterer Eingabezeilen und Flags für die Parameter des Befehls. Grundsätzlich ist die Reihenfolge der Befehlspakete ist nicht zwingend vorgeschrieben. Lediglich die ersten beiden Angaben sind in jeder Batch-Datei der Plot-Erstellung gleich:

- Name der *.plx-Datei (DATE)
- Darstellungsebene (z.B. HORI-zontalschnitt)

Die folgenden Kapitel enthalten eine Übersicht über die einzelnen Batch-Befehle.

8.6.1 Allgemeine Bemerkungen zu den Batch-Befehlen

Da einige Eingaben für mehrere Befehlsblöcke in der Batchdatei identisch sind, werden sie vorab in diesem Kapitel beschrieben.

- Kennungsnummern

Die Daten (Modell- und Ergebnisdaten) werden über Kennungsnummern (Kapitel „Anhang“, S. **451**) und gegebenenfalls über den Zeitschritt (bei instationären Daten) identifiziert. Die Kenntnis der Kennungsnummer ist bei der Bearbeitung über die Benutzeroberfläche nicht erforderlich. Wird die Batchdatei jedoch mit einem Editor erstellt bzw. editiert, ist die Kennungsnummer für den Anwender relevant.

Die Kennungsnummer -99 dient als Flag für verrechnete Daten. Der Umrechnungsflag in andere Einheiten und der Zeitschritt werden nicht interpretiert (Batch-Befehl RECH, S. 400).

- Umrechnung von Daten in andere Einheiten:

Daten, die Mengenangaben betreffen [m³/?/ZE], können durch Angabe eines Umrechnungsflags auf andere Einheiten für den Plot umgerechnet werden. Das Fragezeichen innerhalb der Einheit bedeutet “pro Knoten oder Element“ und ZE ist die Modellzeiteinheit. Die Umrechnungsflags sind wie folgt festgelegt:

Umrechnungsflag	Einheit im Plot
10	[m³/?/a]
11	[m³/?/m]
12	[m³/?/d]
13	[m³/?/h]
14	[m³/?/min]
15	[m³/?/s]
20	[l/?/a]
21	[l/?/d]
22	[l/?/m]
23	[l/?/h]
24	[l/?/min]
25	[l/?/s]

Neubildungsraten (Kennung 111) können zusätzlich zur oben beschriebenen Umrechnung noch von [m³/Element/ZE] auf:

[mm/a] (Umrechnungsflag 1) bzw.
[l/s/km²] (Umrechnungsflag 2) umgerechnet werden.

In der Benutzeroberfläche stehen entsprechende Bedienelemente zur Vorgabe der Einheit zur Verfügung.

- Potentiale im 3D-Modell an der freien Oberfläche

Werden bei einem Horizontalschnitt durch ein 3D-Modell Potentialisolinien/-flächen dargestellt, werden diese bei Eingabe des Umrechnungsflags 9 nicht in der aktuell ausgewählten Schicht, sondern an der freien Oberfläche dargestellt! In der Benutzeroberfläche wird bei entsprechendem Modell und Plotauswahl ein Kontrollkästchen angezeigt, ob die Potentiale an der freien Oberfläche dargestellt werden sollen.

- Koordinaten statt Knotennummern:

Bei einigen Befehlen ist es notwendig, Listen von Knoten- bzw. Elementnummern anzugeben. Dies betrifft:

Definition eines Vertikalschnitts bei einem 3D-Modell (VERT),
Definition von Ganglinienknoten/-elementen (GANG),
Definition von Isolinien/Flächen durch Knoten (ISOL/FLAE), nicht möglich über die Benutzeroberfläche.

Die Eingabe der Nummern kann durch die Eingabe von Koordinaten ersetzt werden.

Dazu wird die Anzahl der zu lesenden Nummern mit einem negativen Vorzeichen versehen. Dann werden statt der Nummern (max. 10 pro Zeile) die Koordinaten (x, y) und - wenn nötig (z. B. bei Ganglinien und 3D-Modell) - die Schichtnummern (Nr.) gelesen. Pro Zeile wird eine Eingabe (x, y und evt. Nr.) getrennt durch Leerzeile oder Tabulator erwartet. Zu den eingegebenen Koordinaten werden dann die am nächsten gelegenen Knoten- bzw. Elementmittelpunkte bestimmt. Zur Kontrolle werden die gefundenen Knoten- bzw. Elementnummern mit Angabe des Abstandes zu den eingegebenen Koordinaten protokolliert.

8.6.2 Name der Ausgabedatei, neue Karte im Plot

- DATE

Der Befehl DATE setzt den Namen für die Ausgabedatei (Endung *.plx).

Eingabe:

1. Zeile: Dateiname

Wird in der Batchdatei kein Name für die Ausgabedatei mit DATE festgelegt, wird eine Datei mit dem Namen stdpld.plx erzeugt. In der Benutzeroberfläche existiert ein entsprechendes Eingabefeld.

- NEUE

Der Befehl NEUE initialisiert eine neue Karte im selben Plot. Es ist keine weitere Eingabe erforderlich.

8.6.3 Festlegung der grundlegenden Darstellungsebene

- 2DMO

Der Befehl steht für einen Horizontalplot in einem Horizontalmodell oder für einen 2D-Plot in einem Vertikalmodell. Es ist keine weitere Eingabe erforderlich.

Der Befehl ist nur in Kombination mit einer anderen Skalierung erforderlich (Batch-Befehl SKAL), sonst ist er nicht notwendig. Dieser Befehl in der Batchdatei wird bei Bearbeitung mit der Benutzeroberfläche bei entsprechender Auswahl des Plottyps und Modelltyps automatisch eingefügt.

- HORI

Der Befehl dient zur Eingabe der Schichtnummer für einen Horizontalschnitt bei einem 3D- oder 2D-Modell mit 3D-Teilgebiet.

Eingabe:

1. Zeile: Schichtnummer (Integer-Zahl) größer oder gleich 0

Die Schichtnummern 0 und 1 liefern Plots der Knoten- und Elementdaten für die 1. Schicht. Bei einem 2D-Modell mit 3D-Teilgebiet wird für eine Schichtnummer > 0 nur das 3D-Teilgebiet geplottet, bei Schichtnummer

= 0 werden die Daten der ersten Schicht für das gesamte 2D/3D-Gebiet dargestellt. (Achtung: Es gibt eine Knotenschicht mehr als Elementschichten!)

Dieser Befehl in der Batchdatei wird bei Bearbeitung mit der Benutzeroberfläche bei entsprechender Auswahl des Plottyps und Modelltyps automatisch eingefügt und übernimmt die Eingabe aus der Benutzeroberfläche.

- NE3D

Der Befehl initiiert ein 3D-Drahtmodell (3D-Netzplot) und übernimmt die Eingaben aus dem Eingabe-Menü der Benutzeroberfläche.

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1.Zeile: Farbnummer, Strichstärke, Linientyp

2. Zeile: Darstellungstyp: 1 = nur 2D-Gebiet, 2 = 2D- und 3D-Gebiet mit Rand, 3 = nur 3D-Gebiet mit Rand

3. Zeile: Blickrichtung in Grad (0 Grad = W, 90 Grad = S, 180 Grad = O, 270 Grad = N),

Blickwinkel (>0 von oben, <0 von unten),

Überhöhungsfaktor in z-Richtung und

Fokus (>0, Parallelprojektion bei Fokus = „unendlich“, getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator)

Bei einem vollständigen 3D-Modell sind Darstellungstyp 2 und 3 identisch!

- VERT

Der Befehl beschreibt einen Vertikalschnitt im Horizontal-, 2D-Modell mit 3D-Teilbereich oder 3D-Modell und erfordert die Eingabe von Knotennummern für den Schnittverlauf. Dieser Befehl in der Batchdatei wird bei Bearbeitung mit der Benutzeroberfläche bei entsprechender Auswahl des Plottyps und Modelltyps automatisch eingefügt und übernimmt die Eingabe aus der Benutzeroberfläche.

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: Anzahl der Schnittknoten (mindestens 2)

Ab 2. Zeile:

Bei Anzahl > 0: Knotennummern (max. 10 Stück pro Zeile)

Bei Anzahl < 0: Anzahl-Folgezeilen mit (x, y)-Koordinaten und gegebenenfalls Schichtnummer

Bei einem 2D-Modell mit 3D-Teilbereich sind nur Schnitte durch das 3D-Gebiet erlaubt! Bei einem Schnitt durch Knoten, die nicht durch Elementkanten verbunden sind, wird ein 'gerader' Schnitt zwischen diesen Knoten quer durch die Elemente gezogen. Es sind dann einige Plots nicht mehr möglich (wie z.B. Werte in Elementen).

Der Vertikalschnitt durch ein Horizontalmodell ist nur dann möglich, wenn Unterkante und Oberfläche (z.B. aus Geländehöhe oder Eichpotentialen oder Oberkante) des modellierten Grundwasserleiters definiert sind. Ist der Grundwasserleiter nach oben durch eine Geländehöhe abgegrenzt und sind zusätzlich Mächtigkeiten für eine undurchlässige Schicht definiert (Attribut UNDU), so wird diese vertikale Unterteilung des Grundwasserleiters beim Netzplot (Batch-Befehl NETZ) berücksichtigt.

Die folgende Abbildung zeigt den Vertikalschnitt eines Horizontalmodells mit einer undurchlässigen Schicht, deren Unterkante im Netzplot dargestellt wird (grün).

8.6.4 Plotparameter

- AUSB

Zum Ausblenden von Darstellungen (Isolinien, Flächen, etc.) in bestimmten Elementen bei einem Horizontalplot.

Eingabe:

1. Zeile: Name der Datei mit den “Ausblend“-Elementen

Der Aufbau bzw. das Format der Ausblend-Datei ist im Kapitel „Datei mit auszublendenden Elementen“ auf S. **39** beschrieben. Es werden in der “Ausblend“-Datei nur Elementnummern der obersten Schicht erwartet (auch bei einem Schnitt durch tiefere Schichten (3D)). Die Daten für diese Datei können in SPRING erzeugt werden, indem den Elementen z.B. das Attribut EEEE zugewiesen wird und der Eingabeblock aus der in einem Editor geöffneten Modelldatei herauskopiert wird.

Das Ausblenden bezieht sich auf alle nachfolgenden Plotbefehle, bei denen ein Ausblenden möglich ist, und wird erst durch einen neuen Schnitt (Batch-Befehle HORI, VERT, 2DMO) abgestellt!

In der Benutzeroberfläche sind entsprechende Eingabemöglichkeiten für die Berücksichtigung einer Ausblend-Datei vorhanden.

- CLIP

Zum Clippen eines Ausschnitts bei Horizontalplots (also Plots im 2D-Modell bzw. in Horizontalschnitten des 3D-Modells).

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: xmin, ymin, xmax, ymax zur Definition der linken unteren und rechten oberen Ecke des Clip-Ausschnitts in Weltkoordinaten.

Es werden alle Plotteile, die über den Ausschnitt hinausragen, am Clip-Ausschnitt abgeschnitten. Der Koordinatenrahmen wird an den Clip-Koordinaten orientiert. In der Benutzeroberfläche sind entsprechende Eingabemöglichkeiten für die Berücksichtigung eines Clippings vorhanden.

- SKAL

Zum Ändern der Skalierung global und in x- und y-Richtung bei Horizontal- und Vertikal-Plots.

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: sca, scx, scy

(Bei einer Eingabe von 0 wird der entsprechende Skalierungsfaktor auf 1 gesetzt.)

Soll der Maßstab der Modelldatei für den Plot geändert werden (Datenart MASS, S. **43**, der Modelldatei), so muss dieser Befehl vor dem ersten Batch-Befehl, der den Plot einer Datenart zur Folge hat, stehen. Er wird sonst ignoriert!

Wird bei 3D-Modellen kein expliziter Schnitt angegeben (mit den Batch-Befehlen HORI oder VERT), wird von SPRING vor dem ersten Datenplot automatisch mit HORI = 0 initialisiert. Fehlt der Batch-Befehl 2DMO (bei 2D-Modellen), wird vor dem ersten Datenplot automatisch die Initialisierung (2DMO) vorgenommen.

Die Batch-Befehle HORI, VERT und 2DMO setzen die Skalierungsgrößen auf 1.0. Daher muss der Batch-Befehl SKAL nach HORI, VERT oder 2DMO stehen, um wirksam zu werden. Wenn also die Skalierungen verändert werden sollen, muss bei 3D-Modellen, auch wenn kein Schnitt gemacht werden soll, HORI (= 0) und bei 2D-Modellen der Batch-Befehl 2DMO vor dem Batch-Befehl SKAL stehen!

In der Benutzeroberfläche sind entsprechende Eingabemöglichkeiten für die Berücksichtigung einer Skalierung vorhanden.

8.6.5 Schriftfeldtypen, Koordinatenrahmen, Maßstabsbalken, Nordpfeil

- TFLD

Festlegen des Textfeld-Typs und Eingaben zur Beschriftung

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: Typnummer des Textfelds (0 = Typ I, 1 = Typ II, 2 = Typ III), Anzahl Folgezeilen bei Typ II, Breite (xdist) und Höhe (ydist) bei Typ III

2. Zeile (nur Typ II): Beschreibung des Datenfelds (TF3A-F)

3. Zeile:

bei Text-Eingaben: xoffset, yoffset, Schriftgröße, Winkel, Farbnummer, zweistelliger Flag für Schriftart und Schriftschnitt

mögliche Schriftarten: Helvetica (1), Roman (2), Courier (3), Symbol (4)

möglicher Schriftschnitt: normal (0), fett (1), kursiv (2), fett kursiv (3)

Bei der Schriftart Symbol (4) ist nur die Auswahl von Schriftschnitt normal (0) möglich.

bei Datums-Eingabe: DATUM, xoffset, yoffset, Schriftgröße, Winkel, Farbe, zweistelliger Flag für Schriftart und- schnitt

bei Eingabe von Datei (mit oder ohne Pfadangabe): DATEI, xoffset, yoffset, Schriftgröße, Winkel, Farbe, zweistelliger Flag für Schriftart und- schnitt

bei Eingabe von PLX-Datei: PLX, xoffset, yoffset

Die Eingabe von Datei (mit oder ohne Pfadangabe) und PLX-Datei ist nicht gleichzeitig möglich.

Durch die folgenden Textfeld-Angaben in einer plogeo-Batch-Datei (Auszug):

```
TFLD   ## Textfeldtyp
1 8                              # Textfeldtyp II, Anzahl Folgezeilen
TF3A                             # Textfeldposition
     2 0.5 0.75 0 1 10 3D-Stroemungsmodell   # #
```

```
TF3E                                    # Textfeldposition
     3 0.5 0.5 0 1 10 Unterflaechen     # #
TF3C                                    # Textfeldposition
DATUM 0 0.3 0.25 0 1 10                 # #
TF3F                                    # Textfeldposition
DATEI 1 0.3 0.4 0 5 12                  # #
```

entsteht dieses Textfeld:

3D-Stroemungsmodell	Maßstab: 1 : 5000 23.04.2012
Unterflaechen	*tfld2a.plx*

- KOOR

Festlegung des Koordinatenrahmen-Typs

Eingabe:

1. Zeile: TYP-Nummer 0 oder 1

Typ = 0 steht für den einfachen Koordinatenrahmen

Typ = 1 steht für den topografischen Koordinatenrahmen

Beispiele hierzu finden sich in den "Erweiterten Einstellungen " auf S. 379 .

Die Batch-Befehle HORI, VERT, DATE und NEUE heben das Flag automatisch auf (und aktivieren die Voreinstellung Typ = 1), so dass der Batch-Befehl KOOR **nach** diesen Befehlen und **vor** dem ersten Befehl zum Plotten einer Datenart stehen muss!

- MASS

Zum Plotten eines Maßstabsbalkens über dem Schriftfeld.

Ein Beispiel hierzu findet sich in den "Erweiterten Einstellungen " auf S. 379 .

Es sind keine weiteren Eingaben erforderlich!

Die Batch-Befehle HORI, VERT, DATE und NEUE heben das Flag automatisch auf, so dass der Batch-Befehl MASS **nach** diesen Befehlen und **vor** dem ersten Befehl zum Plotten einer Datenart stehen muss!

- NORD

Zum Plotten eines Nordpfeils über dem Schriftfeld.

Ein Beispiel hierzu findet sich in den "Erweiterten Einstellungen " auf S. 379.

Es sind keine weiteren Eingaben erforderlich!

Die Batch-Befehle HORI, VERT, DATE und NEUE heben das Flag automatisch auf, so dass der Batch-Befehl NORD **nach** diesen Befehlen und **vor** dem ersten Befehl zum Plotten einer Datenart stehen muss!

8.6.6 Netzdatenplots

- ELNR

Zum Plotten von Elementnummern.

Eingabe (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: Farbnummer, Strichstärke

Bei einem Vertikalschnitt werden jeweils die 2 Elementnummern der angrenzenden Elemente in die Schnittelemente geplottet. Bei Vertikalschnitten, die nicht entlang von Elementkanten verlaufen, sind diese beiden Nummern in der Regel gleich, da ein solcher Schnitt meistens durch die Elemente verläuft.

Sollen Elementnummern geplottet werden, können diese bei den Modelldaten als Layer ausgewählt werden.

- KL2D

Zum Plotten von 2D-Kluft-Schnittspuren.

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: Farbnummer, Strichstärke, Linientyp

Die Darstellung von Kluft-Schnittspuren ist nur in der Ansicht/Profildarstellung möglich.

- KNNR

Zum Plotten von Knotennummern.

Eingabe (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: Farbnummer, Strichstärke

Für Vertikalschnitte, die nicht entlang von Elementkanten verlaufen, können mit diesem Befehl die Knotennummern an die Ecken der Schnittelemente geplottet werden, zwischen denen der Schnitt verläuft.

Sollen Knotennummern geplottet werden, können diese bei den Modelldaten als Layer ausgewählt werden.

- KREU

Zum Plotten von Passpunkten (Digitalisierkreuzchen) zusammen mit dem Koordinatenrahmen.

Ohne weitere Eingaben!

Die Batch-Befehle HORI, VERT, DATE und NEUE heben das Flag automatisch auf, so dass der Batch-Befehl KREU **nach** diesen Befehlen und **vor** dem ersten Befehl zum Plotten einer Datenart stehen muss!

In der Benutzeroberfläche gibt es unter den "Erweiterten Einstellungen" (S. 379) eine entsprechende Eingabemöglichkeit zur Darstellung von Passpunkten im Plot.

- MARK

Zum Darstellen der Markierungen (Datenart MARK in der Modelldatei).

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: Farbnummer, Strichstärke, Linientyp

Bei Horizontalschnitten von 3D-Modellen werden als Voreinstellung alle Markierungen unabhängig davon, in welcher Schicht sie sich befinden, dargestellt. Bei Angabe einer negativen Farbnummer werden nur die Markierungen der aktuellen Schicht geplottet.

Bei Vertikalschnitten von 3D-Modellen, die nicht entlang von Elementkanten verlaufen, können keine Markierungen geplottet werden. Bei Vertikalschnitten von 3D-Modellen entlang von Elementkanten werden nur Knotenmarkierungen geplottet.

Markierungen vom Wert 1.0, 2.0 und 3.0 werden nicht als PLX-Marker sondern als “Linien“ dargestellt. Sie haben fest definierte Höhen: MARK=1.0 (Quadrat) = 0.28 cm, MARK=2.0 (Achteck) = 0.32 cm und MARK=3.0 (Dreieck) = 0.35 cm. Punktmarkierungen mit Werten größer oder gleich 100 werden als PLX-Marker mit der voreingestellten Markerhöhe von 0.32 cm geplottet. Diese voreingestellt Markerhöhe kann über den plogeo.ini-Befehl HMAR (S. **92**) verändert werden.

- NETZ

Zum Plotten des Netzes.

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: Farbnummer, Strichstärke, Linientyp

In der Benutzeroberfläche gibt es eine entsprechende Eingabemöglichkeit zur Darstellung des Modellnetzes im Plot.

- RAND

Zum Plotten des Netzrandes.

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: Farbnummer, Strichstärke, Linientyp

Wenn der Modellrand oder die Modellränder geplottet werden sollen, kann dies bei den Modelldaten als Layer ausgewählt werden.

8.6.7 Datenplots

- BAHN

Zum Plotten von Bahnlinien (s. Kapitel "Darstellung von Bahnlinien" auf S. **404**).

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: Farbnummer, Strichstärke, Linientyp

2. Zeile: Markertyp, z, ize (nur bei Markertyp = 1)

Markertyp = 0 bedeutet: keine Markierungen

Markertyp = 1 bedeutet: Markierungen nach z Zeiteinheiten, z = Anzahl der Zeiteinheiten

Markertyp = 2 bedeutet: Markierungen nach z Metern, z = Abstand in Metern

Die gewählte Zeiteinheit bei Markertyp = 1 wird über die Integer-Zahl ize abgelegt:

ize = 0: Sekunden

ize = 1: Minuten

ize = 2: Stunden

ize = 3: Tage

ize = 4: Monate

ize = 5: Jahre

Es werden immer alle im Hintergrund gespeicherten Bahnlinien geplottet.

- ETXT

Zum Plotten von Element-Texten (Datenart ETXT auf S. 376).

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: Farbnummer, Strichstärke, Linientyp

2. Zeile: Markertyp, (x, y)-Offset in cm, Texthöhe in cm, Flag für Kasten (bei Flag = 1)

Bei Horizontalschnitten von 3D-Modellen werden als Voreinstellung alle Element-Texte unabhängig von der Schicht geplottet. Bei Angabe einer negativen Farbnummer werden nur noch die Element-Texte der aktuellen Schicht geplottet. Die Markerhöhe ist gleich der Texthöhe. Die Kastenhöhe beträgt 1.5*Texthöhe.

Als Markertypen sind die PLX-Markertypen zugelassen.

Bei Eingabe von Markertyp = -1 wird kein Marker geplottet.

Bei Vertikalschnitten (3D-Modelle) können keine Element-Texte geplottet werden.

- FLAE

Zum Plotten von Isolinienflächen auf S. 370 von Knoten- und Elementdaten.

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: Kennungsnummer der Datenart, Umrechnungsflag und Zeitschritt

2. Zeile: Nummer der Farbpalette, Strichstärke und Linientyp

3. Zeile: Auswahl der Einteilungsart und weitere Angaben je nach Einteilungsart:

   1 (= äquidistante Teilung) und Intervall-Anzahl

   2 (= von, bis, im Abstand) und min., max.-Werte , 4. Zeile: Abstand

   3 (= Einzelwerte als Intervallgrenzen) und Anzahl der Werte, 4. Zeile: Werte

   4 (= Isolinien durch Knoten) und Anzahl der Knoten, 4. Zeile: Knotennummern. Wenn die Anzahl der Knoten negativ gesetzt wird, können ab der 4. Zeile ein Koordinatenpaar und deren Schichtnummer (3D) eingegeben werden

   5 (= Einzelwerte und Farben) und Anzahl der Werte, 4. Zeile: Werte, 5. Zeile: zugehörige Farbnummern

Die Einteilungsart 4 kann nur über die Batchdatei eingegeben werden.

Werden mehr Werte-Intervalle definiert als Farbabstufungen zur Verfügung stehen, wiederholen sich die Farben.

Es können nur Flächenplots von Daten, die für alle Knoten oder für alle Elemente definiert sind, erstellt werden!

- FROB

Zum Plotten der freien Oberfläche bei Vertikalschnitten (3D-Modell) oder bei Vertikalmodellen und zur Steuerung des “Ausblendens“ von Isolinien, Flächenplots und Geschwindigkeiten über der freien Oberfläche.

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: Farbnummer, Strichstärke, Linientyp und Zeitschritt

Die freie Oberfläche wird bei einer Farbnummer > 0 geplottet. Bei Farbnummer = 0 werden alle nachfolgenden Isolinien, Flächenplots oder Geschwindigkeiten über der freien Oberfläche ausgeblendet. Mit einer Farbnummer < 0 wird das Ausblenden wieder abgestellt.

Entsprechende Eingabemöglichkeiten sind in der Benutzeroberfläche vorhanden.

- GESC

Zum Darstellen der Geschwindigkeiten (s. S. 365).

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: Farbnummer, Strichstärke, Linientyp, Zeitschritt und Vertikalflag (bei Vertikalschnitt durch 3D-Modell oder Vertikalmodell)

Bei Vertikalschnitten durch ein 3D-Modell oder bei der Darstellung der Geschwindigkeiten in einem Vertikalmodell kann über das Vertikalflag eingestellt werden, ob (bei einer überhöhten Darstellung) die vertikalen Komponenten der Geschwindigkeitsvektoren mit überhöht werden (Vertikalflag = 0) oder nicht (Vertikalflag = 1).

Außerdem ist zu beachten, dass bei Vertikalschnitten eines 3D-Modells 3 Farben, d.h. Farbnummer für Geschwindigkeiten in der Schnittebene, Farbnummer+1 für Geschwindigkeiten, die aus der Ebene zeigen, und Farbnummer+2 für in die Ebene zeigende Geschwindigkeiten, verwendet werden.

- GLEI

Zum Plotten von Markern (s. S. 376) an GLEI-Knoten.

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: Farbnummer
2. Zeile: Markertyp, Markerhöhe
3. Zeile: Flag, ob mit (1) oder ohne (0) Knotennummern, Höhe für Knotennummern

- ISOL

Zum Plotten von Isolinien von Knoten- und Elementdaten.

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: Kennungsnummer der Datenart, Umrechnungsflag und Zeitschritt
2. Zeile: Farbnummer, Strichstärke und Linientyp
3. Zeile: Auswahl der Einteilungsart und weitere Angaben je nach Einteilungsart:
   - 1 (= äquidistante Teilung) und Intervall-Anzahl
   - 2 (= von, bis, im Abstand) und min., max.-Werte , 4. Zeile: Abstand
   - 3 (= Einzelwerte als Intervallgrenzen) und Anzahl der Werte, 4. Zeile: Werte
   - 4 (= Isolinien durch Knoten) und Anzahl der Knoten, 4. Zeile: Knotennummern. Wenn die Anzahl der Knoten negativ gesetzt wird, können ab der 4. Zeile ein Koordinatenpaar und deren Schichtnummer (3D) eingegeben werden
   - 5 (= Einzelwerte und Farben) und Anzahl der Werte, 4. Zeile: Werte, 5. Zeile: zugehörige Farbnummern (Anzahl Farben muss gleich Anzahl Werte sein)
   - 6 (= Eingabe von Einzelwerten, Farbnummern, Strichstärken und Linientypen) und Anzahl Werte, ab der 4. Zeile: Wert, Farbnummer, Strichstärke und Linientyp

Die Einteilungsarten 4 und 6 gehen nur über die Batchdatei!

Es können nur Isolinien von Daten, die für alle Knoten oder alle Elemente definiert sind, dargestellt werden!

- KONT

Zum Plotten von Kontrolllinienmengen (s. S. 377).

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: Farbnummer, Strichstärke, Linientyp, Umrechnungsflag und Zeitschritt

Bei einem Vertikalschnitt ist ein Plot von Kontrolllinienmengen nicht möglich!

- KREI

Zum Plotten von Knoten- oder Elementdaten als Kreise (s. S. 372) an Knoten oder in Elementen.

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: Kennungsnummer der Datenart, Umrechnungsflag und Zeitschritt
2. Zeile: Farbnummer, Strichstärke, Skalierungsflag und Skalierungswert

Es können nur Knoten oder Elementdaten als Kreise geplottet werden. Dabei ist es sinnvoll, nur Daten, die nicht für alle Knoten bzw. Elemente definiert sind, als Kreiseplot darzustellen. Für die positiven Werte wird die angegebene Farbnummer verwendet, die negativen Werte werden mit Farbnummer+1 dargestellt.

Bei Eingabe einer negativen Farbnummer werden nur Werte ungleich 0 dargestellt.

Bei Auswahl des Skalierungsflags 1 wird ein Skalierungswert > 0. erwartet, dessen Referenz der Kreisgröße 1.0 cm entspricht.

Wird kein Skalierungsflag oder 0 angegeben, so wird die maximale Kreisgröße automatisch aus der Größe des Plots bestimmt. Über den Initialisierungsparameter RADI der plogeo.ini - Datei kann die max. Kreisgröße auch explizit festgesetzt werden.

- PUNK

Zum Plotten von Punkten (bzw. Markern) an Knoten oder in Elementen.

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: Kennungsnummer, 0, Zeitschritt, 0

2. Zeile: Markertyp, Markerhöhe

3. Zeile: Dummy, Anzahl Intervalle

ab 4. Zeile: Intervallgrenzen (maximal 5 pro Zeile)

ab 5. Zeile: zugehörige Farbnummern (maximal 5 pro Zeile)

Derzeit werden die Werte, die hier mit Nullen angegeben sind, nicht weiter interpretiert.

Es können nur Knoten oder Elementdaten als Punkte geplottet werden.

- KTXT

Zum Plotten von Knoten-Texten (Datenart KTXT, S. 376).

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: Farbnummer, Strichstärke, Linientyp

2. Zeile: Markertyp, (x, y)-Offset in cm, Texthöhe in cm, Flag für Kasten (bei Flag = 1)

Bei Horizontalschnitten von 3D-Modellen werden als Voreinstellung alle Knoten-Texte unabhängig von der Schicht geplottet. Bei Angabe einer negativen Farbnummer werden nur noch die Knoten-Texte der aktuellen Schicht geplottet. Die Markerhöhe ist gleich der Texthöhe. Die Kastenhöhe beträgt 1.5*Texthöhe.

Als Markertypen sind die PLX-Markertypen zugelassen.

Bei Eingabe von Markertyp = - 1 wird kein Marker geplottet.

Bei Vertikalschnitten von 3D-Modellen können keine Knoten-Texte geplottet werden.

- SCHR

Zum Plotten einer Schraffur (s. S. 370) bzw. dem flächenhaften Plot von Elementdaten.

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: Kennungsnummer der Datenart, Umrechnungsflag und Zeitschritt

2. Zeile: Einteilungsart und Festlegung der Schraffurintervalle:

   0 (= genaue Eingabe) und Anzahl der Intervalle, in den Folgezeilen: Für jedes Schraffurintervall wird eine Zeile gelesen mit Min., Max., Abstand der Linien, Winkel, Farbe, Strichstärke und Linientyp

   1 (= vereinfachte Eingabe: äquidistante Teilung) und Anzahl Intervalle, in der Folgezeile: Nummer der Farbpalette, Strichstärke, Linientyp, Abstand der Linien

   2 (= vereinfachte Eingabe: von, bis, Abstand), 3.Zeile: min., max. Abstand, in der 4. Zeile: Nummer der Farbpalette, Strichstärke, Linientyp, Abstand der Linien

Werden mehr Werte-Intervalle definiert als Farbabstufungen zur Verfügung stehen, wiederholen sich die Farben.

Wird kein Schraffurabstand oder der Abstand 0 gesetzt, so wird der Schraffurabstand automatisch auf 0.2 cm gesetzt.

Schraffuren sind nur für Elementdaten möglich!

- STRO

Zum Plotten von Stromlinien (s. S. 377).

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: Farbnummer, Strichstärke, Linientyp

2. Zeile: Markertyp, z, ize (nur bei Markertyp = 1)

Markertyp = 0 bedeutet: keine Markierungen

Markertyp = 1 bedeutet: Markierungen nach z Zeiteinheiten, z = Anzahl der Zeiteinheiten

Markertyp = 2 bedeutet: Markierungen nach z Metern, z = Abstand in Metern

Die gewählte Zeiteinheit bei Markertyp = 1 wird über die Integer-Zahl ize abgelegt:

ize = 0: Sekunden

ize = 1: Minuten

ize = 2: Stunden

ize = 3: Tage

ize = 4: Monate

ize = 5: Jahre

Es werden immer alle im Hintergrund gespeicherten Stromlinien geplottet.

- VORF

Zum Darstellen der Lagehöhe eines Vorflutwasserspiegels bei Vertikalschnitten durch Horizontal- oder 3D-Modelle.

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: Farbnummer, Strichstärke, Linientyp

- WERT

Zum Plotten von Werten (s. S. 372) an Knoten oder Elementen

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: Kennungsnummer der Datenart, Umrechnungsflag und Zeitschritt

2. Zeile: Farbnummer

Es können nur Knoten oder Elementdaten als Werte geplottet werden.

Bei Eingabe einer negativen Farbnummer werden nur Werte ungleich 0 dargestellt.

8.6.8 Instationäre Daten

- GANG

Zum Erstellen von Ganglinienplots (s. S. 373).

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: Kennungsnummer der Datenart, Flag für Index, freie Oberfläche und Umrechnung

2. Zeile: Anzahl der Ganglinienknoten/-elemente

3. Zeile: Knoten bzw. Elementnummern (max. 10 Stück pro Zeile) bzw. (bei Anzahl < 0) pro Zeile ein Paket mit (x, y)-Koordinaten und Schichtnummer (bei 3D). Werden mehr als eine Zeile benötigt, verschieben sich die nächsten Zeilen entsprechend.

4. Zeile: Farbnummer für die jeweils 1. Ganglinie pro Ganglinienbild, Anzahl Plots übereinander

5. Zeile: Min/Max-Wert, Intervallgröße (bei min = max werden die globalen Werte genommen)

6. Zeile: Flag für Spline-Interpolation (1 = mit Interpolation, 0 = ohne Interpolation)

7. Zeile: Flag für alle Ganglinien in ein Bild (1 = ja, 0 = nein), ggf. Referenzdatenart

8. Zeile: Flag für Sollwerte (1 = mit Sollwerten, 0 = ohne Sollwerte), Hintergrundfarbe, Skalierungswert

Bei Sollwerten:

9. Zeile: Farbnummer für Sollwerte

10. Zeile: Name der Datei mit den Sollwerten

Es können nur Ganglinien von instationären Daten (400-er Kennungsnummern) geplottet werden.

Wenn Ganglinien mit Sollwerten dargestellt werden, werden berechnete Werte und Sollwerte bei Einstellung des plogeo.ini-Befehls EDIF = 1 in einer ASCII-Datei (C<Knoten/Elementnummer>.txt) protokolliert.

Ganglinien mit einer zusätzlichen horizontalen Linie für eine Referenzdatenart:

Unter der Voraussetzung, dass jede Ganglinie in eine eigene Karte geschrieben wird (7. Zeile des GANG-Befehls "Flag für alle Ganglinien in ein Bild = 0"), kann zusätzlich zur Ganglinie eine horizontale Linie in die Karte geplottet werden (mit Farbnummer der Ganglinie +1). Die Lagehöhe dieser Linie orientiert sich dabei an dem Wert einer Referenzdatenart an diesem Knoten/Element. Die hierfür verwendeten Datenarten müssen "stationär" sein. Erlaubt sind hier Modelldaten (wie z.B. Geländehöhe - Kennung 85, Z-Koordinaten - Kennung 13) oder Ergebnisse am Ende der inst. Rechnung (z.B. Potentiale - Kennung 306).

8.6.9 3D-Blockbilddaten

- PL3D

Zum Plotten eines 3D-Blockbildes. Dieser Plot ist nur über die Befehlseingabe in der Batchdatei möglich!

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: Blickrichtung in Grad (0 Grad = W, 90 Grad = S, 180 Grad = O, 270 Grad = N), Blickwinkel (> 0 von oben, < 0 von unten), Überhöhungsfaktor in z-Richtung und Fokus (> 0, Parallelprojektion bei Fokus = unendlich)

2. Zeile: nx, ny (Rastereinteilung: Anzahl Intervalle in x und y Richtung)

3. Zeile: Kennungsnummer für Höhenlage des 3D-Blockbildes, Zeitschritt, Schichtnummer, Index

4. Zeile: Höhenlage für Rasterebene (kleiner oder gleich Datenminimum), Farbnummer, Strichstärke und Linientyp

5. Zeile: Kennungsnummer für Rasterplot, Zeitschritt, Schichtnummer:

Kennung = 0: kein Raster!

Kennung = -1: einfarbiges Raster (über Blockbild), in folgender Zeile Farbnummer, Strichstärke, Linientyp

Kennung > 0: mehrfarbiges Raster für Werte der Kennung (auf Höhenlage des Blockbildes), in folgenden Zeilen Informationen über Farbintervalle:

Start-Farbnummer (vgl. FLAE), Strichstärke, Linientyp

Welche Intervalle und ggf. wie viele:

1 (= automatische äquidistante Unterteilung) und Anzahl Intervalle

2 (= von, bis, im Abstand): Folgezeile besteht aus min, max, Abstand

3 (= Eingabe von Einzelwerten als Intervallgrenzen) und Anzahl Werte, Folgezeile(n) beinhaltet Werte (max. 10 Stück pro Zeile)

4 (= Intervallgrenzen durch Knotenwerte) und Anzahl Knoten, Folgezeile enthält Knotennummern (max. 10 Stück pro Zeile) bzw. (bei Anzahl < 0) pro Zeile x, y-Koordinaten und Schichtnummer (bei 3D)

6. Zeile: Isolinien auf das Raster plotten? Kennungsnummer, Zeitschritt, Schichtnummer

Kennung = 0: keine Isolinien

Kennung > 0: farbige Isolinien für Werte der Kennung (auf Höhenlage des Blockbildes), in folgenden Zeilen:

(Start-)Farbnummer, Strichstärke, Linientyp

Kennung < 0: eine Farbe für alle Isolinien

Kennung > 0: verschiedenfarbige Isolinien (Startfarbnummer: siehe FLAE)

Welche Isolinien und ggf. wie viele:

1 (= automatische äquidistante Unterteilung) und Anzahl der Isolinien

2 (= von, bis, im Abstand), Folgezeile beinhaltet min, max, Abstand

3 (= Eingabe von Einzelwerten für Isolinien) und Anzahl Isolinien, Folgezeile(n) beinhaltet Werte (max. 10 Stück pro Zeile)

4 (= Isolinien durch Knotenwerte) und Anzahl Knoten, Folgezeile enthält Knotennummern (max. 10 Stück pro Zeile) bzw. (bei Anzahl < 0) pro Zeile x, y-Koordinaten und Schichtnummer (bei 3D)

7. Zeile: Farbnummer, Strichstärke, Linientyp

Linienmarkierungen auf das Raster plotten?

Farbnummer = 0: keine Plot-Markierungen (Werte=10)

Farbnummer < 0: nur Linienmarkierungen der aktuellen Schicht plotten

Farbnummer > 0: alle Linienmarkierungen plotten

Beispiele:

Um mit den folgenden PL3D-Blöcken ein Blockbild erstellen zu können, muss die zugehörige *.bpl-Datei mit den beiden Zeilen:

```
DATE          ## Dateiname der Plotdatei
bild.plx
```

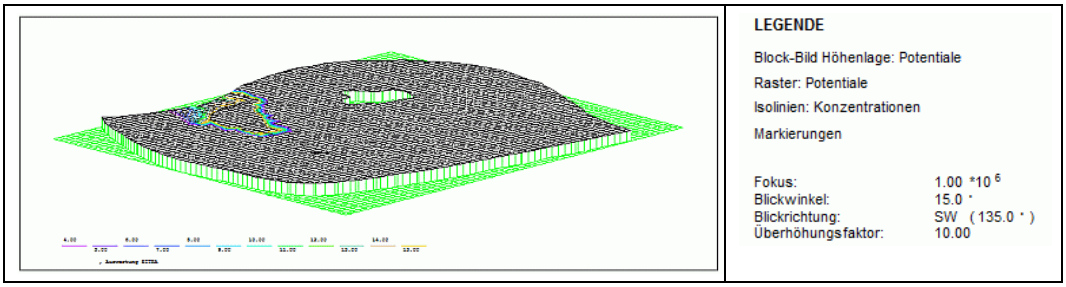
beginnen und nach dem PL3D-Block mit der Zeile

```
# ---> Plot Ende!
```

abschließen.

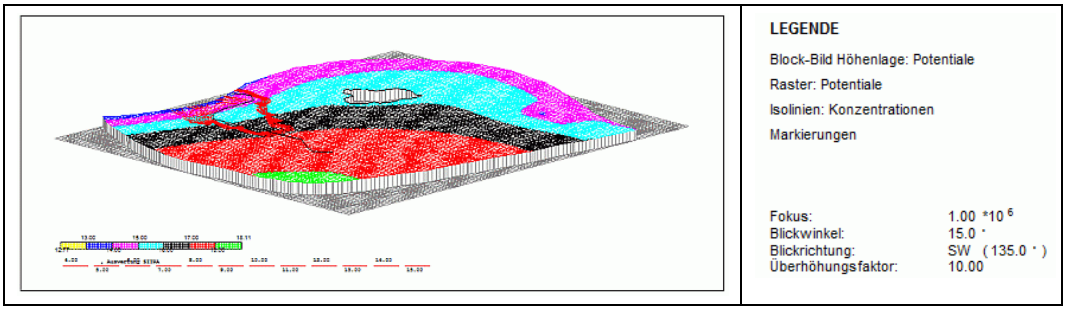
- 3D-Blockbild mit einfarbigem Raster auf Höhenlage der Potentiale und farbigen Isolinien für Konzentrationen:

```
PL3D                 # 3D-Blockbild
135. 15. 10. 1.e+6   # Blickrichtung SW, Blickwinkel, Überhoehungsfak. z ,Fokus
100 100              # 100x100 Raster
201                  # Rasterhöhenlage (->Sichtbarkeit) aus Potentialwerten
0. 3 0.25 1          # Rasterebene auf Potential=0. in Farbe 3
-1                   #einfarbiges Raster
1 0.25 1             #Farbe 1, Strichstärke, Linientyp ...
203                  #Isol. fuer Konzentrationen (203)
0 0.25 1             #versch. Farben! Startfarbe=0, Strichdicke, Linientyp
2                    #Darstellung: Isolinen
4. 16. 1.            # von, bis, Abstand
1 0.5 1              # Markierungen in Farbe 1, Strichstärke 0.5
```



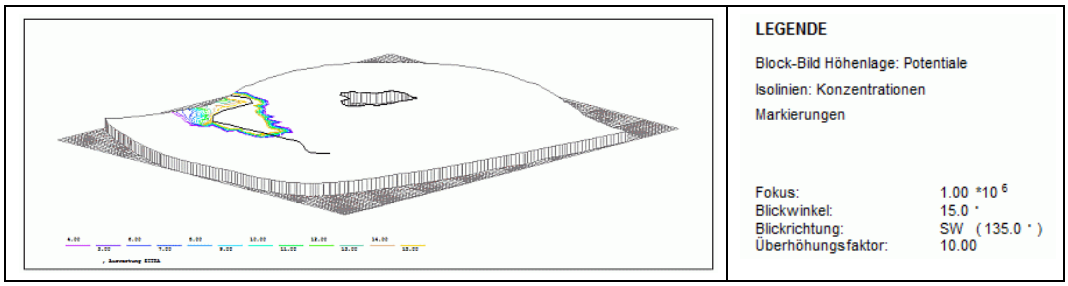
- 3D-Blockbild auf Höhenlage der Potentiale mit mehrfarbigem Raster für die Potentiale und einfarbigen Isolinien für Konzentrationen:

```
PL3D                 # 3D-Blockbild
135. 15. 10. 1.e+6   # Blickrichung SW, Blickwinkel, Überhöhungsfak. z ,Fokus
100 100              # 100x100 Raster
201                  # Rasterhöhenlage (-Sichtbarkeit) aus Potentialwerten
0. 8 0.25 1          # Rasterebene auf Potential=0. in Farbe 8
201                  # Raster für Potentiale
4 0.25 1             # mehrfarbiges Raster: Startstiftnr. 4, ...
2                    # Rasterfarbintervall für Potentiale (201)
13. 18. 1.           # von, bis abst
-203                 # Isolinien fuer Konzentrationen (203)
2 0.25 1             # einfarbig (Stift 2), Strichdicke, Linientyp
2                    # Darstellung: Isolinien
4. 16. 1.            # von, bis, Abstand
1 0.5 1              # Markierungen in Stift 1, Strichstärke 0.5
```



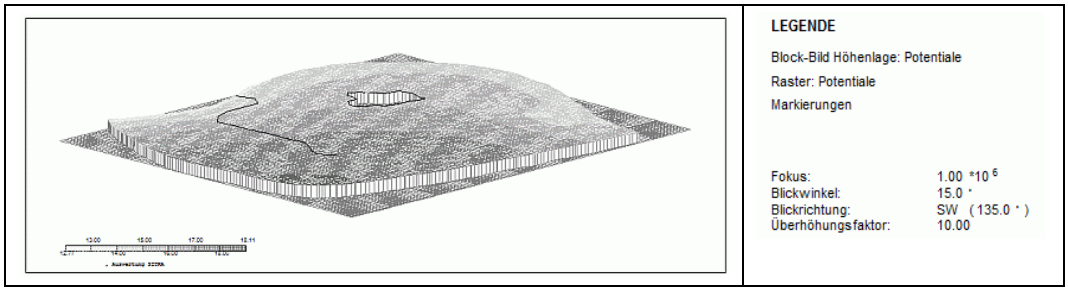
- 3D-Blockbild (ohne Raster) mit farbigen Isolinien für Konzentrationen auf Höhenlage der Potentiale:

```
PL3D                # 3D-Blockbild
135. 15. 10. 1.e+6 # Blickrichtung SW, Blickwinkel, Überhöhungsfak. z ,Fokus
100 100             # 100x100 Raster
201                 # Rasterhöhenlage (->Sichtbarkeit) aus Potentialwerten
0. 8 0.25 1         # Rasterebene auf Potential=0. in Farbe 8
0                   # kein Raster
203                 # Isol. für Konz. (203)
0 0.25 1            # versch. Farben! StartFarbe=0
2                   # Darstellung: Isolinien
4. 16. 1.           # von, bis, Abstand
1 0.5 1             # Markierungen in Farbe 1, Strichstärke 0.5
```



- 3D-Blockbild auf Höhenlage der Potentiale mit mehrfarbigem Raster für die Potentiale, ohne Isolinien:

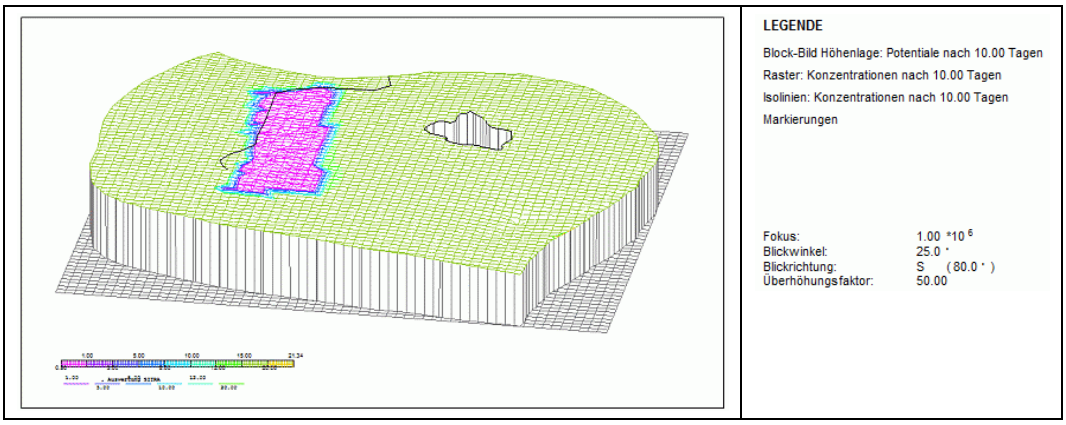
```
PL3D                # 3D-Blockbild
135. 15. 10. 1.e+6  # Blickrichtung SW, Blickwinkel, Überhöhungsfak. z ,Fokus
100 100             # 100x100 Raster
201                 # Rasterhöhenlage (->Sichtbarkeit) aus Potentialwerten
0. 8 0.25 1         # Rasterebene auf Potential=0. in Farbe 8
201                 # Raster für Potentiale
-1 0.25 1           # mehrfarbiges Raster, in Graustufen (StartFarbe 1 ...)
2                   # Rasterfarbintervall für Potentiale (201)
13. 18. 1.          # von, bis Abst
0                   # keine Isolinien
1 0.5 1             # Markierungen in Farbe 1, Strichstärke 0.5
```



- 3D-Blockbild auf Höhenlage der Potentiale nach 10 Tagen mit mehrfarbigem Raster für die Konzentrationen und mehrfarbigen Isolinien für die Konzentrationen:

```
PL3D ## 3d-Schaubild
80.0 25.0 50.0 1000000.0  # Blickricht., Blickwinkel, Skal.z, Fokus
60 60                     # Rasterintervalle in X und Y-Richtung
301 10 1 0                # Höhenlage: Potentiale (ZS 10), Schicht 1, Index
1.00 8 0.25 1             # Höhenl. 1 m, Farbe, Strichst, Linientyp
303 10 1                  # farbiges Raster: Konz. (ZS 10), Schicht 1
0 0.25 1                  # Start-Farbe 0, Strichstärke, Linientyp
3 8                       # Einzelwerte -> Anzahl Werte
1.00000 3.00000 5.00 8.0000  10.0000 #
12.0000 15.00000 20.00    #
```

```
303 10 1                    # farbige Isolinien: Konz. (ZS 10), Schicht 1
0 0.30 1                    # (Start-)Stift, Strichstärke, Linientyp
3 6                         # Einzelwerte -> Anzahl Werte
1.00000  3.00000  5.00000 10.00000 12.00000 #
20.00000                    #
1 0.25 1                    # Markierung: Stift, Strichst., Linientyp
```



8.6.10 1D-Kluftdaten

Die folgenden Befehle sind nur über die batchgesteuerte Parametereingabe ansprechbar.

- KL1D

Zum Plotten von 1D-Klüften.
Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):
1. Zeile: Farbnummer, Strichstärke, Linientyp

- NR1D

Zum Plotten von Kluftnummern an 1D-Klüften.
Eingabe:
1. Zeile: Farbnummer

- PL1D

Zur farbigen Darstellung der 1D-Klüfte entsprechend 1D-Kluftdaten.
Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):
1. Zeile: Kennungsnummer der 1D-Kluftdatenart
2. Zeile: Start-Farbnummer, Strichstärke und Linientyp
3. Zeile: Festlegung der Werte zur Farbeinteilung:
   1 (= äquidistante Teilung) und Intervall-Anzahl
   2 (= von, bis, im Abstand) und min., max.-Werte , 4. Zeile: Abstand
   3 (= Einzelwerte als Intervallgrenzen) und Anzahl der Werte, 4. Zeile: Werte (max. 10 Stück pro Zeile)

- WE1D

Zum Plotten von Werten an 1D-Klüften.
Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):
1. Zeile: Kennungsnummer der 1D-Kluftdatenart
2. Zeile: Farbnummer
Bei Eingabe einer negativen Farbnummer werden nur Werte ungleich 0 dargestellt.

8.6.11 Sonstige

- EICH

Zum Plotten von Messdaten (s. S. 358) und Differenzen zu Messdaten.

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: Kennungsnummer der Datenart für Differenzen, Umrechnungsflag und Zeitschritt
2. Zeile: Farbnummer, Strichstärke, Flag zur Darstellung der Differenzen:
   0 = Kreisdarstellung
   1 = Balkendarstellung, weiterer Flag für Skalierungsparameter für die Balkenhöhe
3. Zeile: Name der Datei mit den Messdaten

Die Datei mit den Messdaten muss im ASCII-Strukturdatenformat vorliegen.

Bei Kennungsnummer = 0 werden die Messdaten als Werte geplottet.

Bei Kennungsnummer > 0 wird die Kennungsnummer einer Knotendatenart für alle Knoten oder einer Elementdatenart für alle Elemente erwartet. Es werden die Differenzen von Kennungsdaten (der aktuellen Schicht) - Messdaten an allen Messpunkten innerhalb des Modellgebiets berechnet. und als Kreise bzw. Balken dargestellt. Dabei können Markertyp und Markerhöhe über die plogeo.ini-Befehle ETYP und EHGT beeinflusst werden. Außerdem werden die berechneten Differenzen zusammen mit gemessenen und berechneten Werten bei Einstellung des plogeo.ini-Befehls EDIF = 1 in einer ASCII-Datei (DiffEich.tmp) protokolliert.

Das Plotten von Messdaten/Differenzen bei Vertikalschnitten ist nicht möglich!

- FUNK

Dieser Befehl ist nur über die batchgesteuerte Parametereingabe ausführbar.

Zur Darstellung beliebiger Daten als “Ganglinie“ ggf. mit “Sollwerten“ im Ganglinienformat.

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: Bezeichnung für X-Achse
2. Zeile: Bezeichnung für Y-Achse
3. Zeile: Name der Datei mit Funktionswerten
4. Zeile: Farbnummer für “Ganglinie“
5. Zeile: Min-/Max-Werte (bei min = max werden die globalen Werte verwendet)
6. Zeile: Flag für Interpolation (1 = mit Interpolation, 0 = ohne Interpolation)
7. Zeile: Flag für Sollwerte (1 = mit Sollwerten, 0 = ohne Sollwerte)

Bei Sollwerten:

8. Zeile: Farbnummer für Sollwerte
9. Zeile: Name der Datei mit den Sollwerten

Der Batch-Befehl FUNK benötigt im Prinzip keine Hintergrunddateien, also keine Modellprüfung und weitere Berechnungen. Damit das Programm jedoch funktioniert, muss eine Steuerdatei (aaa) mit den dazugehörigen Hintergrunddateien (bbb, ccc, ...) vorhanden sein. Die Datei wird für diesen Befehl nicht ausgewertet, so dass man eine Steuerdatei aus einem beliebigen, anderen Rechenlauf verwenden kann.

- RECH

Zum Verrechnen zweier Datenarten.

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: Kennungsnummer der 1.Datenart, Umrechnungsflag, Zeitschritt und Schichtnummer

   bei Schichtnummer > 0: Daten aus einer anderen Schicht (3D-Modell)

   bei negativer Kennungsnummer: Daten aus einem anderem Lauf (→ anderes Verzeichnis), in dem Fall: Folgezeile mit Verzeichnis, aus dem die Daten gelesen werden sollen (absolut, oder relativ zum aktuellen Arbeitsverzeichnis mit “/“ am Ende!)

2. Zeile: Kennungsnummer der 2.Datenart, Umrechnungsflag, Zeitschritt und Schichtnummer

   bei Schichtnummer > 0: Daten aus einer anderen Schicht (3D-Modell)

   bei negativer Kennungsnummer: Daten aus einem anderem Lauf (→ anderes Verzeichnis), in dem Fall: Folgezeile mit Verzeichnis, aus dem die Daten gelesen werden sollen (absolut, oder relativ zum aktuellen Arbeitsverzeichnis mit “/“ am Ende!)

   Kennungsnummer = 0: (nur erlaubt, wenn die erste Datenart aus einem anderen Verzeichnis oder einer anderen Schicht kommt): In diesem Fall wird die erste Datenart nicht “verrechnet“. Mit diesem

Trick können in begrenztem Umfang Daten aus einem anderen Lauf / Verzeichnis oder einer anderen Schicht direkt geplottet werden (ohne Verrechnung).

3. Zeile: Verrechnungsart: '+', '-' , '*' oder '/' (1.Zeichen in der Zeile!)

(Die Zeile mit der Verrechnungsart fällt weg, wenn die 2.Kennung = 0 ist).

Bemerkung: Es kann höchstens eine Datenart aus einem anderen Verzeichnis / einer anderen Schicht zum Verrechnen verwendet werden!

Zum Plotten der verrechneten Daten muss einer der Batch-Befehle WERT, KREI, ISOL, FLAE oder SCHR mit der Kennungsnummer -99 folgen!

- UGSC

Dieser Befehl ist nur über die batchgesteuerte Parametereingabe ausführbar.

Zum Schraffieren der Elemente eines 3D-Modells mit einer negativen Differenz zwischen Potentialen und Z-Koordinate in einem Horizontalschnitt.

Eingaben (getrennt durch Leerzeichen oder Tabulator):

1. Zeile: Farbnummer, Strichstärke, Linientyp und Zeitschritt (für Potentiale)

Dieser Plot ist nur für 3D-Modelle im Horizontalschnitt möglich. Es werden für die Elementmittelpunkte die Differenzen Potential - Z-Koordinate berechnet. Die Schraffur-Informationen können wie folgt interpretiert werden:

Wird als Horizontalschnittebene die Ebene 0 oder 1 (also die Z-Koordinaten der 1. Knotenschicht (entspricht der Geländehöhe) verwendet, werden die Elemente schraffiert, in denen der Flurabstand (Geländehöhe-Potential) positiv ist.

Repräsentiert die Schnittebene für den Horizontalschnitt die Basis eines Stockwerks, werden die Elemente schraffiert, in denen das Potential unterhalb der Basis (Z-Koordinate) des Stockwerks liegt.

9 How To

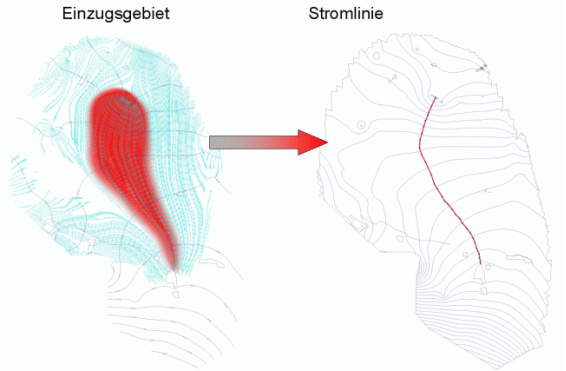
In diesem Kapitel werden spezielle Vorgehensweisen beschrieben, die bei der Erstellung von Grundwassermodellen immer wieder vorkommen.

9.1 Ermittlung von Einzugsgebieten

Ein Einzugsgebiet ist das gesamte Gebiet, aus dem die ober- und unterirdischen Zuflüsse einem bestimmten Punkt zufließen. Dieser Punkt kann ein Entnahmebrunnen oder auch die Mündung eines Vorfluters in ein Hauptgewässer sein. Der Rand eines Einzugsgebietes ist die Wasserscheide.

Das Gebiet wird vor allem durch die topographischen und geologischen Verhältnisse bestimmt.

Im Grundwassermodell lässt sich ein Einzugsgebiet z.B. über Bahnlinien, Stromlinien oder Schlieren bestimmen, bei einem Stofftransportmodell auch durch die invertierte Strömung. Die Vorgehensweisen werden im Folgenden erläutert.



9.1.1 Theoretische Grundlagen der Bahnlinienberechnung

Eine Bahnlinie ist diejenige Linie, die den Weg eines Wasserteilchens über eine Fließzeit t beschreibt. Die Berechnung von Bahnlinien erfolgt durch die Verfolgung des Weges eines imaginären Wasserteilchens durch Integration des Strömungsfeldes. Die Integration der Potentiale ergibt die Filtergeschwindigkeiten, die mittels folgender Gleichung in Abstandsgeschwindigkeiten umgerechnet werden:

$$v_a = v_f / n_d$$

mit

v_a = Abstandsgeschwindigkeit

v_f = Filtergeschwindigkeit

n_d = durchflusswirksames Porenvolumen

Dabei spielen zwei Dinge eine wichtige Rolle für die Genauigkeit der Linien:

- Da je Element eine konstante Geschwindigkeit berechnet wird (bei einem linearen Ansatz für die Potentiale), muss die Diskretisierung des Modellgebiets in Bereichen mit wechselnden Gradienten entsprechend fein sein.
- Für die Interpolation zwischen den Elementmittelpunkten geltenden Geschwindigkeiten muss ein gleichmäßiger Übergang gewährleistet sein.

In der praktischen Berechnung wird die Bahnlinie eine bestimmte Wegstrecke (s) weit mit der Anfangsgeschwindigkeit verfolgt, dann eine neue Geschwindigkeit interpoliert und weiterverfolgt. Die Wegabschnitte s müssen je nach Inhomogenität des Strömungsfeldes durch den Benutzer gewählt werden.

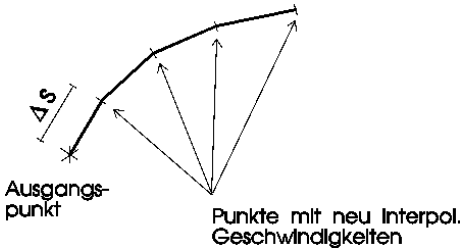


Abb. 232: Berechnung einer Bahnlinie

Eine Problemstelle bei der Berechnung von Bahnlinien sind die Entnahmebrunnen. Wird diese Tatsache nicht als Nebenbedingung mit berücksichtigt, ergeben sich durch die wechselnden Strömungsrichtungen überschießende Zickzacklinien:

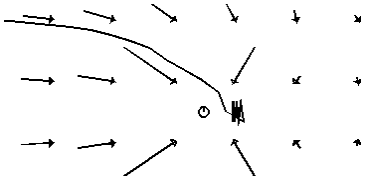


Abb. 233: Bahnlinienberechnung an einem Brunnen ohne Nebenbedingung

Bessere Ergebnisse werden erzielt, wenn stattdessen überprüft wird, ob der neu berechnete Bahnlinienpunkt nahe an einem Förderbrunnen liegt. Ist dies der Fall, kann die Bahnlinie „gefangen“ werden:

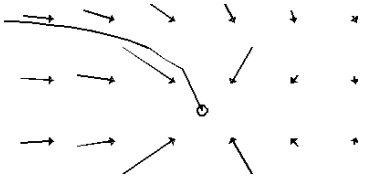


Abb. 234: Bahnlinienberechnung mit nach Entnahmemenge und Abstand eingestelltem "Fang"-Kriterium

Die Bahnlinienverfolgung endet, wenn eines der folgenden Kriterien erfüllt ist:

- ein vorgegebener Zeitpunkt oder eine Wegstrecke wird erreicht,
- es wird der Rand des Modellgebietes oder eine offene Wasserfläche erreicht,
- die Bahnlinie wird von einem Knoten mit Entnahmemenge "eingefangen",
- die Entfernung zwischen zwei aufeinander folgenden Bahnlinienpunkten unterschreitet eine vorgegebene Schranke.

Die Umsetzung bzw. die erforderlichen Eingaben in SPRING werden im Kapitel "Berechnen und Darstellen von Bahnlinien" auf S. 404 erläutert.

Die Startpunkte für Bahnlinien können um Knoten, in Elementmittelpunkten oder auf beliebigen Koordinaten x, y, (z) liegen. Die Richtung der Bahnlinienverfolgung kann in Fließrichtung oder entgegengesetzt gewählt werden. Die zweite Möglichkeit bietet sich zur Bestimmung einer Schutzzone um einen Brunnen an (z.B. 50-Tage-Grenze). Auf den Bahnlinien können im Eingabedialog der *Ploterstellung* (S. **377**) Zeitmarkierungen gesetzt werden, anhand derer dann manuell Isochronen konstruiert werden können.

Die Berechnung von instationären Bahnlinien unterscheidet sich nur dadurch, dass sich das Geschwindigkeitsfeld zu jedem Zeitschritt ändert. Zusätzlich zu den Bahnlinienabschnitten s wird deshalb überprüft, ob die verfolgte Fließzeit t nicht größer ist als die Zeitschrittlänge T.

9.1.2 Berechnen und Darstellen von Bahnlinien

Zur Darstellung von Bahnlinien wird bei der Strömungsberechnung mit dem Modul GEONEU (stationär) bzw. bei dem Modul INSTAT (instationär) die Bahnlinienberechnung durch Aktivieren des entsprechenden Kontrollkästchens berücksichtigt. Dabei erscheint im Modul GEONEU folgendes Fenster, in dem die Kriterien für die Bahnlinien festgelegt werden:

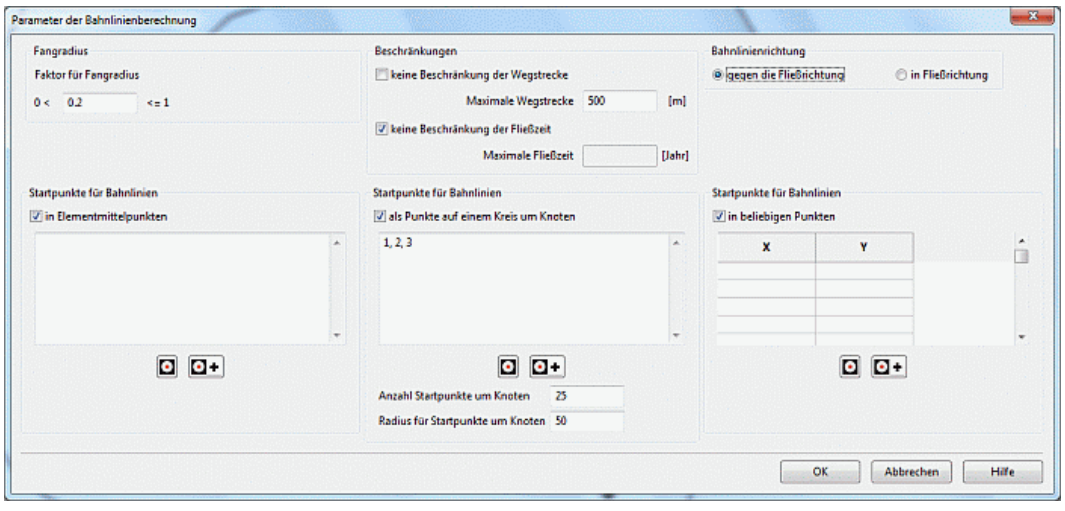


Abb. 235: Eingaben für Bahnlinien

Das Eingabefenster beim Modul INSTAT unterscheidet sich durch die fehlenden Eingabemöglichkeiten in den Blöcken „Beschränkungen“ und „Bahnlinienrichtung".

Fangradius

Bei der Bahnlinienverfolgung anhand der berechneten Geschwindigkeiten wird eine Linie nur in Ausnahmefällen direkt auf einen Entnahmebrunnen zulaufen. Um ein "Herumirren" um den Knoten zu vermeiden, wird bei Entnahmeknoten geprüft, ob eine Bahnlinie in den Bereich eines Brunnens kommt. Ist dies der Fall, wird die Linie auf den Knotenpunkt gezogen. Es werden nur Linien gefangen, die in einem Element landen, das den entsprechenden Brunnenknoten als Eckknoten hat.

Der Fangradius ist eigentlich kein Radius, sondern ein Skalierungsfaktor für die Schwerpunktkoordinaten des aktuellen Bahnlinienpunktes bzgl. des Brunnenknotens. Die "Fangbedingung" ist demnach abhängig von der jeweiligen Elementgröße und wird außerdem noch mit der relativen Entnahme- bzw. Zuflussmenge im Brunnen gewichtet. Wenn der voreingestellte Wert keine befriedigenden Resultate liefert, kann hier ein anderer Wert > 0 angegeben werden.

Beschränkungen

Es kann eine maximale Wegstrecke (m) und/oder eine maximale Fließzeit (in der jeweiligen Zeiteinheit der Netzdatei) als Abbruchkriterium für die Bahnlinienverfolgung angegeben werden.

Bahnlinienrichtung

Die Bahnlinienrichtung kann gegen die Fließrichtung oder in Fließrichtung der Strömung gewählt werden.

Startpunkte für Bahnlinien

Bei Wahl der Menüpunkte "Startpunkte für Bahnlinien", öffnen sich die Eingabefenster, in denen die Startpunkte festgelegt werden können. Durch die Button bzw. kann eine interaktive Auswahl in der Benutzeroberfläche erfolgen. Eine Kombination aller drei Startpunkt-Arten ist möglich.

Bei der Bahnlinienberechnung wird eine Porosität von 0.2 berücksichtigt. Diese kann über die Batch-Datei der Strömungsberechnung (s. S. **289**) geändert werden.

Eine typische Anwendung der Bahnliniendarstellung ist die Frage nach Einzugsgebieten von Entnahmebrunnen, z.B. welcher Bereich im Umkreis des Brunnens als Wasserschutzzone ausgewiesen werden muss (z.B. 50-Tage-Schutzzone). Hierfür bietet sich die Darstellung entgegen der Fließrichtung an.

Nach der Strömungsberechnung muss der Plot erstellt werden, um die Bahnlinien darzustellen. Dazu muss *Datei → Ploterstellung → Draufsicht/Kartenerstellung* gewählt werden und im Eingabefenster *Ergebnisdaten -- Bahnlinien* eingegeben werden. Es öffnet sich folgendes Fenster:

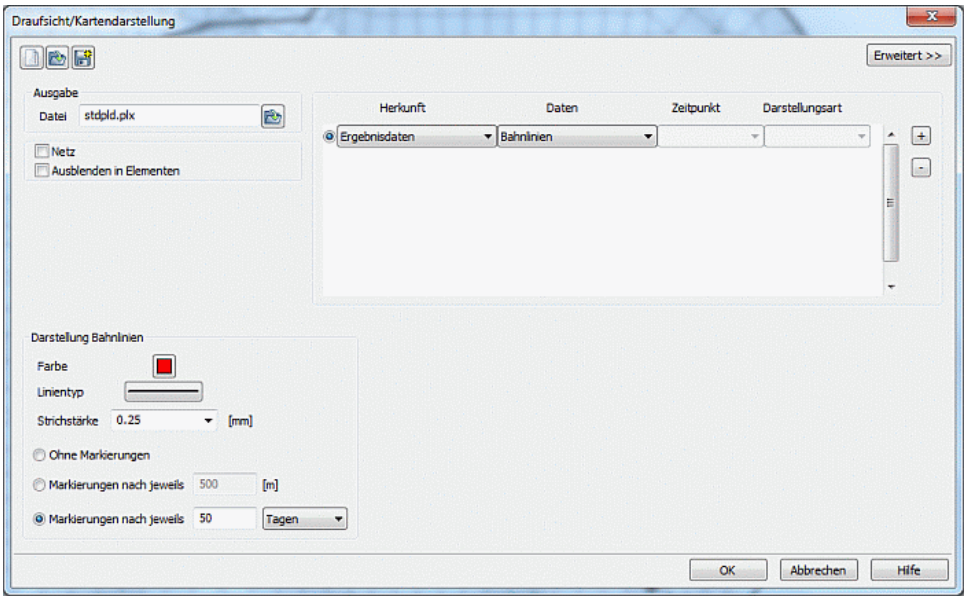


Abb. 236: Bahnlinien-Kriterien bei der Ploterstellung

Die Angabe "Markierungen nach jeweils = 50" bedeutet bei der Auswahl von "Tagen", dass auf der Wegstrecke der Bahnlinie nach jeweils 50 Tagen eine Markierung gesetzt wird. Zur Kennzeichnung der 50-Tage-Schutzzone eines Brunnens kann anhand der Zeitmarkierungen die entsprechende 50-Tage-Isochrone ma-

nuell konstruiert werden. Für das folgende Bild wurden die oben angegebenen Parameter und die Knotennummern der Brunnen (1, 2, 3) eingesetzt.

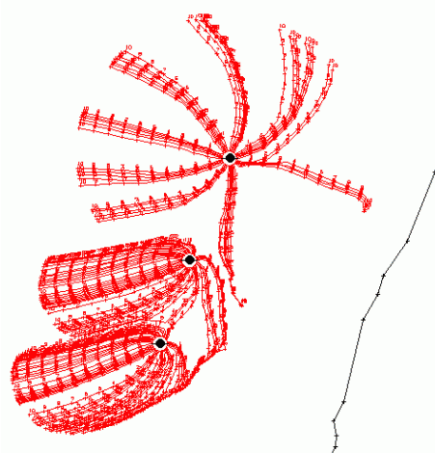


Abb. 237: Bahnlinien mit einer Länge von 500 m und einer Markierung nach jeweils 50 Tagen

An diesem Bild sind die in der Strömungsberechnung eingestellten Parameter erkennbar. Die Bahnlinie endet nach Erreichen der 500-m-Grenze, der Abstand um den Brunnen entspricht "dem Radius für Startpunkte um Knoten = 25 m", und es sind 50 Bahnlinien.

Es erfordert jedoch ein wenig Übung, um ein für sein Problem aussagekräftiges Bild zu erhalten.

9.1.3 Theoretische Grundlagen der Stromlinien

Eine Stromlinie beschreibt die Grenze, über die kein Wasser transportiert wird, d.h. die Wassermenge zwischen zwei Stromlinien bleibt konstant (solange keine Zusickerung von oben erfolgt). Von der Theorie her bedingt, ist eine solche Berechnung nur für **2D-Horizontalmodelle** möglich.

Bei der Stromlinienberechnung wird in jedem Knoten die Massenbilanz aufgestellt. Durch Lösung des entstehenden Gleichungssystems werden die Stromlinien ermittelt. Die Startpunkte für die Stromlinien werden ebenfalls aus den Knotenbilanzen ermittelt. Vom Benutzer wird ein Schwellenwert für die Wassermenge definiert, ab der pro Brunnenknoten eine Stromlinie startet.

Die Stromlinien werden dann entsprechend den über die anliegenden Elementseiten zufließenden Wassermengen verteilt, indem die Mengen aufsummiert werden, bis der gewählte Schwellenwert erreicht ist. Von den so gefundenen Stellen auf den Elementseiten können dann die Stromlinien durch das nächste Element und dann über die nächste Kante verfolgt werden. Ebenso können die Startpunkte entlang des Randes oder entlang von Vorflutern ermittelt werden.

Rückwärts berechnete Stromlinien enden an einer Elementseite zu einem Knoten, der eine Zusickerung größer als der Schwellenwert aufweist. Dies kann entweder ein Randknoten sein, an dem Zuflüsse über den Rand errechnet wurden, oder ein beliebiger Knoten im Gebiet mit einer Infiltration (auch aus GW-Neubildung).

In der Regel ist bei einem Horizontalmodell die Grundwasserneubildung zu berücksichtigen. Sie wird als geringe Zusickerung auf alle Knoten des Netzes verteilt. Hierdurch erhält jeder Knoten einen Zufluss und kann damit Endpunkt für die Rückwärtsverfolgung einer Stromlinie sein. Dies führt zu einer Ausdünnung der Bahnlinien z.B. entlang des Einzugsgebietes eines Brunnens und repräsentiert so die Verteilung der Grundwasserneubildung. Dieser Effekt wird nur dann deutlich sichtbar, wenn eine größere Anzahl von Stromlinien je Brunnen erzeugt wurde.

Die so berechneten Stromlinien geben neben den Fließwegen des Grundwassers auch einen Überblick über die fließenden Mengen, so dass bei dicht liegenden Stromlinien von großen Mengen, bei vereinzelt liegenden Stromlinien von geringen Mengen ausgegangen werden kann. Ein Stromlinienbild ist auch eine gute Überprüfung einer Kalibrierung. Ist in einzelnen Elementen der K-Wert gegenüber der Umgebung sehr klein oder sehr groß geraten, zeigt sich dies in einem scharfen Abknicken der Stromlinien.

Die Darstellung der Stromlinien wird stark von der Qualität des FE-Netzes beeinflusst, da große Diskontinuitäten an den Elementrändern zu einem großen seitlichen Versatz der Linien führen. Ein wichtiger Effekt, der bei der Bahnlinienverfolgung nicht berücksichtigt wird, ist die Querverteilung beim Übergang zwischen zwei Elementen mit verschiedenen Mächtigkeiten. Zur Erhaltung der Masse müssen die Stromlinien im Element mit der größeren Mächtigkeit enger beieinander liegen als im Element mit der geringeren Mächtigkeit.

9.1.4 Erzeugen und Darstellen von Stromlinien

Die Berechnung von Stromlinien ist nur im Anschluss an eine zweidimensionale horizontale Strömungsberechnung (stationär oder instationär) möglich. Zur Darstellung der Stromlinien (= mengenbezogene Bahnlinien) müssen diese exportiert werden: *Datei → Exportieren → Stromlinien...*. Es erscheint folgendes Eingabefenster:

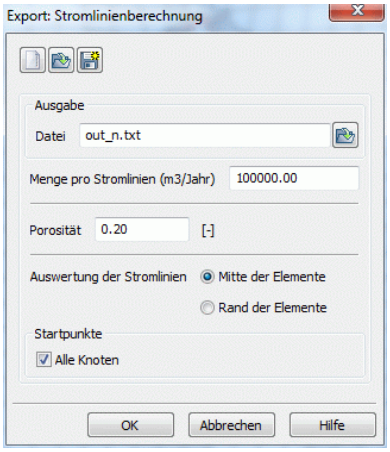


Abb. 238: Stromlinienberechnung

Die Eingabeblöcke sind ausführlich im Kapitel "Datenexport - Ausgabe von Stromlinien" auf S. **343** erläutert.

Die Angabe der "Menge pro Stromlinien (m³/Jahr)" erfordert ein bisschen Feingefühl für die vorhandenen Wassermengen im Modell. Im Beispiel wird mit 10.000 m³ pro Jahr gerechnet, und es werden Stromlinien in allen Knoten gestartet (die Angabe einzelner Knotennummern ist nur bei Entnahmebrunnen zulässig). Nach der Berechnung kann unter *Ploterstellung* der Punkt: *Ergebnisdaten: Stromlinien* gewählt werden. Das Eingabefenster ist identisch mit dem für die Bahnlinien (s. S. **377**) und erfordert die gleichen Parameter. Hier wurde "Markierungen nach: 100 m" gesetzt, das Ergebnis ist folgendes Bild:

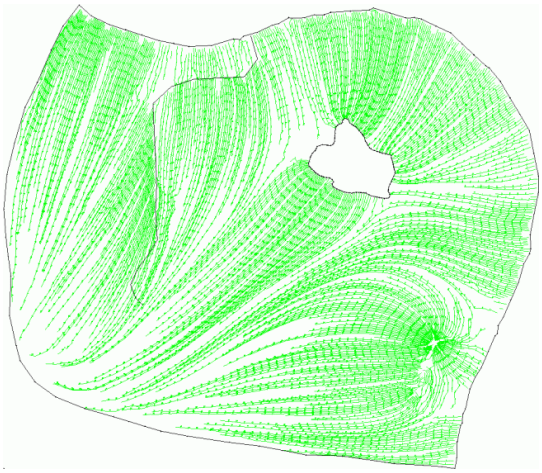


Abb. 239: Stromlinienmenge 10.000 m³ pro Jahr

Nahe bei einander liegende Stromlinien bedeuten große Wassermengen, in Gebieten mit vereinzelten Stromlinien fließt nur wenig Wasser. Scharfe Knicke im Stromlinienverlauf sind ein Hinweis auf Sprünge in den K-Werten der benachbarten Elemente.

9.1.5 Einzugsgebietsermittlung mit Schlieren (FLIC)

Oftmals stellt sich die Frage nach den Einzugsgebieten von Vorflutern oder Brunnen, z.B. bei der Beurteilung und Festlegung von Trinkwasserschutzzonen oder dem Einflussbereich eines Entnahmebrunnens.

Mit dem Programm *FLIC* (Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin) ist es möglich, nach einer Strömungsberechnung die berechneten Geschwindigkeiten als "Schlieren" darzustellen. Diese Visualisierungstechnik liefert eine wesentlich bessere Vorstellung über die Fließwege als die sonst üblichen Fließpfeile der Geschwindigkeiten, insbesondere bei 3D-Modellen, wo per Definition keine Stromlinienberechnung möglich ist.

Im modifizierten Beispielmodell existieren nun zwei Brunnenbereiche, die sich durch die Schlierendarstellung deutlich voneinander abgrenzen lassen.

Das Vorgehen zur Schlierendarstellung ist folgendes:

Nach erfolgreicher Strömungsberechnung erfolgt die Berechnung für die Darstellung durch *Datei → Exportieren → Schlierendarstellung*. Danach erscheint folgendes Eingabefenster:

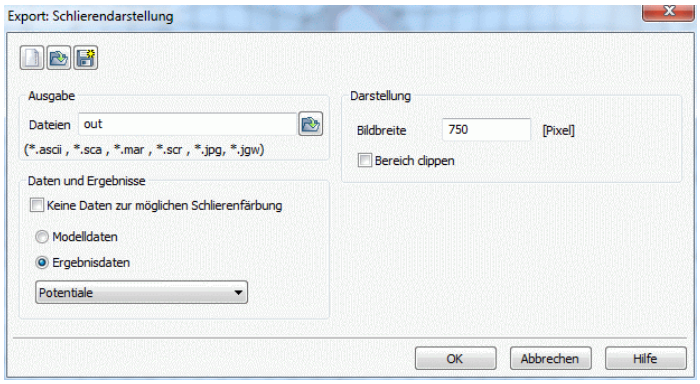


Abb. 240: Eingaben für die Schlierendarstellung

Die Ausgabedateien sind mit dem Namen "out" vorbelegt, der Name kann vom Anwender geändert werden. Angehängt werden die sechs Ausgabe-Extensions .ascii, .sca, .mar, .scr, .jpg und jwg.

Die Darstellung der Schlieren erfolgt im Format ".jpg" mit der zur Georeferenzierung erforderlichen World-Datei ".jgw". Die Farbe der Schlieren kann durch die Wahl einer Datenart (Modell- oder Ergebnisdaten) verändert werden. Im Beispiel wurden die Potentiale als Farbgeber gewählt.

Man erhält das folgende Bild:

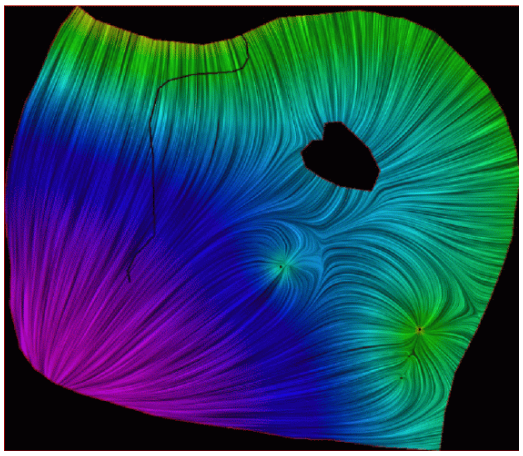


Abb. 241: Schlierendarstellung der Potentiale

Entlang des Schlierenverlaufs können z.B. mit dem Strukturmenü in SPRING (Modus Modelldatei) die Einzugsgebiete der Brunnen-(galerie) als Flächen- oder Linienstruktur digitalisiert werden. Die jpg-Datei kann auch im Plotmodus geöffnet werden, die Linien- oder Flächenobjekte dort gezeichnet und als plx-Datei gespeichert werden.

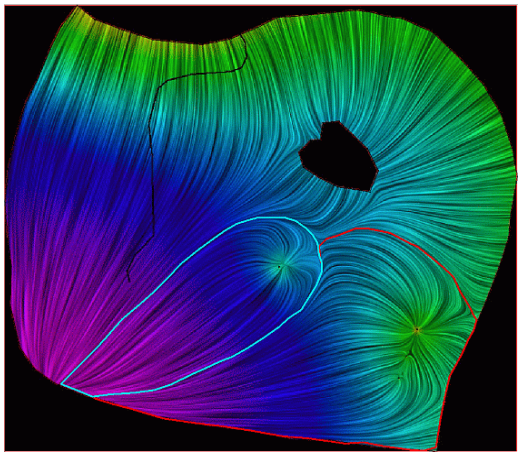


Abb. 242: Digitalisierte Ränder der Einzugsgebiete des Einzelbrunnens (türkis) und der Brunnengalerie (rot)

Um die ermittelten Einzugsgebiete mit FLIC mit den berechneten Bahn- und Stromlinien zu vergleichen, wird eine der plx-Dateien (z.B. die Bahnliniendarstellung) geöffnet und die plx-Datei der Stromliniendarstellung und

die Schlierendarstellung überlagert (*Datei → Importieren → Datei überlagern… → Auswahl des entsprechenden Dateityps)*.

Man sieht deutlich, dass der Verlauf der Schlieren dem der Bahn- und Stromlinien entspricht. Die übrigen Dateien können in anderen Geoinformationssystemen (z.B. ARC INFO) weiter verwendet werden.

Nach Löschen der Schlierendarstellung können die Einzugsgebiete mit der topografischen Karte überlagert und so der Bezug vor Ort hergestellt werden. Hierfür ist ggf. zunächst eine Änderung der Darstellung der Flächenstrukturen von einer Umrandung in eine gefüllte Fläche vorzunehmen.

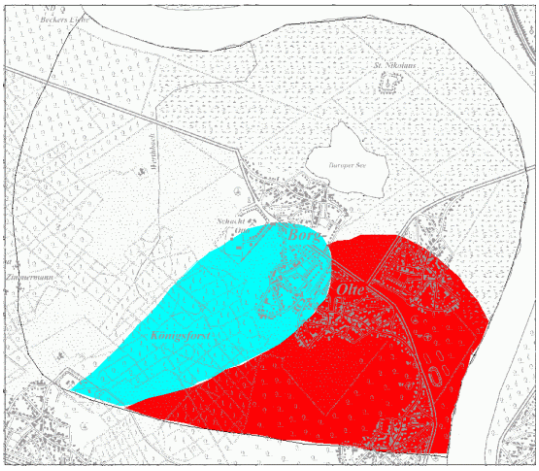


Abb. 243: Einzugsgebiete der Brunnen

9.1.6 Georeferenzieren von Schlieren-Darstellungen

Zur Georeferenzierung von Dateien im Format *.jpg bzw. *.jpeg muss eine Datei des Typs *.jgw erstellt werden. Dazu werden die Extrem-Koordinaten des Modells bzw. des Modellrandes xmin/ymin und xmax/ymax in Welt-Koordinaten (i.d.R. Gauß-Krüger-Koordinaten) und die Schlieren-Darstellungsausdehnung in Pixeln sizeX/sizeY benötigt.

Die Koordinaten werden z.B. mit Hilfe des Menüpunktes *Ansicht → Koordinaten bestimmen* ermittelt. Die Ausdehnung der Schlieren-Grafik lässt sich der Ausgabedatei *.scr entnehmen, nachdem ein Datenexport für die Schlierendarstellung gerechnet wurde (*Datei → Exportieren → Schlierendarstellung...*). Die Datei kann mit einem beliebigen Editor geöffnet werden. In der Zeile „size“ findet sich die Pixelgröße des Plots.

Wenn die erforderlichen Zahlen ermittelt sind, wird mit einem Editor eine ASCII-Datei erstellt, die folgende Zahlen (oberer Aufhänge-Punkt) bzw. Berechnungsergebnisse (Skalierungen) enthält:

```
1. Zeile: (xmax-xmin)/sizeX
2. Zeile: 0.0
3. Zeile: 0.0
4. Zeile: (ymin-ymax)/sizeY
5. Zeile: xmin
6. Zeile: ymax
```

Die Datei erhält den Namen der Schlieren-Grafik mit der Endung *.jgw. Diese Georeferenzierungs-Datei wird beim Öffnen der Schlieren-Darstellung mit SPRING automatisch ausgewertet.

Tipp: Durch Erhöhen des Pixel-Wertes im Eingabefenster des Datenexports kann die Auflösung vergrößert werden.

In der aktuellen SPRING-Version werden die Schlierenbilder bei Horizontal- und 3D-Modellen bei Darstellung definierter Schichten automatisch georeferenziert.

9.1.7 Transport bei invertierter Strömung

Es ist möglich, Einzugsgebiete unter Berücksichtigung von Advektions- und Dispersions-/ Diffusionsprozessen darzustellen. Somit können auch lokale Heterogenitäten über den Dispersionsterm abgebildet werden, die über die herkömmlichen Methoden der Geschwindigkeitsverfolgung nicht bzw. nur beschränkt ermittelbar sind.

Grundlage dieser Vorgehensweise ist in *Uffink, F., Application of Kolmogorovs backward equation in random walk simulations of groundwater contaminant transport; Contaminat Transport in Groundwater, Kobus & Kinzelbach, 1986 und Wilson, J.L. and J. Liu, Backward particle tracking to find the source of pollution in waste management. Waste Management: From Risk to Reduction, 1995* näher erläutert.

Wird die Konzentration in einem Brunnen mit 1,0 belegt, werden Wahrscheinlichkeiten des eintreffenden Partikels in den Brunnen als Konzentrationswerte berechnet. Mit der Darstellung von Isokonzentrationsflächen von 0,05 bis 1,0 wird eine 95%-Wahrscheinlichkeit des Eintreffens eines Partikels in den Entnahmebrunnen berechnet.

In den Bildern ist ein 3D-Beispiel dargestellt, in dem zwei Grundwasserleiter durch einen Stauer getrennt sind. Die Entnahmebrunnen fördern aus dem unteren Grundwasserleiter. Es ist die 50 Tagefläche im Vertikal- und Horizontalschnitt dargestellt:

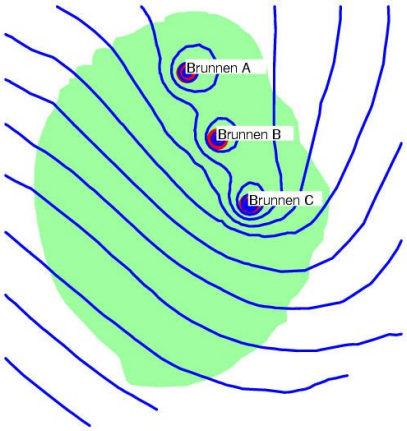


Abb. 244: Horizontales Strömungsbild

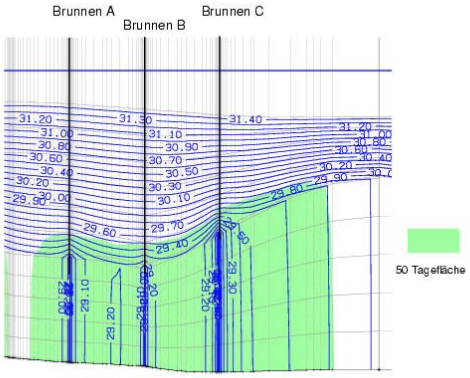


Abb. 245: Vertikales Strömungsbild

Eine detaillierte Beschreibung des Vorgehens bei einer invertierten Strömung sprengt den Rahmen dieses Handbuches. Während einer Schulung kann auf Wunsch auf die Berechnung von Transportprozessen bei invertierter Strömung eingegangen werden.

9.2 Massenbilanzen

Eine Massenbilanz ist die volumenmäßige Erfassung der Wassermenge, die während eines bestimmten Zeitraumes in ein Untersuchungsgebiet ein- und ausströmt. Zuflüsse werden mit einem positiven Vorzeichen, Abflüsse mit einem negativen Vorzeichen belegt. Innerhalb des Modellgebiets definieren Kontrolllinien Linien bzw. Flächen, auf denen der Volumenstrom berechnet werden kann.

9.2.1 Grundlagen der Kontrolllinien

Ein Strömungsbild gibt die Richtung wieder, aus der z.B. ein Brunnen angeströmt wird. Mit Hilfe von Kontrolllinien können zusätzlich Aussagen über die aus einer bestimmten Richtung zuströmenden Wassermengen gemacht werden. Die Menge errechnet sich aus der Fließgeschwindigkeit und der zugehörigen durchströmten Fläche. Die dreidimensionale Berechnung liefert abhängig von der Schichteinteilung tiefendifferenzierte Mengen.

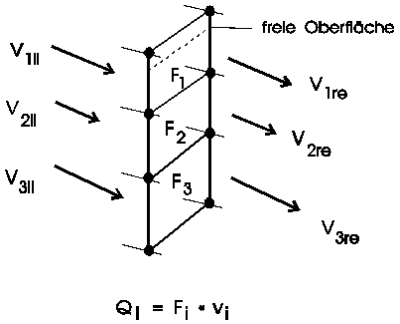


Abb. 246: Berechnung der über einen vertikalen Schnitt strömenden Mengen

9.2.2 Allgemeine Hinweise zur Nutzung von Kontrolllinien

Die Festlegung der Kontrolllinien erfolgt in der Modelldatei (*.net) mit Hilfe der Datenart KONT. Die Datenart KONT ist unabhängig vom Modelltyp (2D oder 3D).

Die Linien können sich von einem 2D-Gebiet in ein 3D-Gebiet erstrecken; sie dürfen jedoch nicht entlang der 2D/3D-Grenze verlaufen.

Um Mengen über einen Gebietsrandabschnitt zu erhalten, sollten statt Kontrolllinien besser die Reaktionsmengen (bei Potentialrandbedingungen) der entsprechenden Knoten aufsummiert werden (Attribut BILK), da diese genauer sind.

Die Kontrolllinien müssen immer auf den Elementseiten verlaufen, damit stehen zur Berechnung immer die Geschwindigkeiten und durchströmten Flächen von zwei Elementen zur Verfügung. Die Flächen werden gemittelt, da die Unterschiede in der Regel nicht so groß sind. Bei den Geschwindigkeiten hat der Benutzer die Wahl, ob eine Mittelung stattfinden oder ob der Wert des links bzw. rechts anliegenden Elementes verwendet werden soll. Die Genauigkeit der Mengenberechnung ist von der FE-Diskretisierung und der Diskontinuität der Elemente abhängig.

Bei der Anwendung des Attributs KONT sind außerdem folgende Punkte zu beachten:

- Die Berechnung der Kontrolllinien wird im Hauptmenü des jeweiligen Strömungsmoduls aktiviert, sobald das Attribut KONT in der Modelldatei vorhanden ist.
- Die Ergebnisse für die einzelnen Knoten sowie die Gesamtmenge der Kontrolllinie werden in die Ausgabedatei der Strömungsberechnung geschrieben. Der Wert der Kontrolllinie in der Modelldatei entspricht der Nummer der Linie in der Ausgabedatei.
- Wird in SPRING eine geschlossene Kontrolllinie erstellt, z.B. um einen Brunnen, muss der letzte (= erster Knoten) Knoten manuell in der Modelldatei eingefügt werden, damit die Linie geschlossen ist.
- Kontrolllinien können auch über die Elementdiagonalen zugewiesen werden. Bei einer späteren Netzverfeinerung kommt es an diesen Stellen jedoch zu einer "unsauberen" Linienführung, und in der Strömungsberechnung wird eine Warnung ausgegeben. Hier ist eine manuelle bzw. erneute Zuweisung des Attributs KONT erforderlich.
- Mit dem Modul SITRA ist die Berechnung nur über die Elementkanten möglich!
- Das Vorzeichen der Kontrolllinienmengen an den einzelnen Abschnitten ist abhängig von der Zuweisungsrichtung: Ein Fließen über die Kontrolllinie von RECHTS nach LINKS in Zuweisungsrichtung ist positiv definiert, ein Fließen über die Kontrolllinie von LINKS nach RECHTS in Zuweisungsrichtung ist negativ definiert.
- Im Dreidimensionalen erfolgt die Berechnung der Mengen über die Tiefe, beginnend in der Schicht, auf die das Attribut KONT zugewiesen wurde, bis zur Modellbasis.

Die folgenden Kapitel beschreiben konkrete Anwendungsbeispiele von Kontrolllinien.

9.2.3 Verwendung von Kontrolllinien zur Ermittlung des Zustroms zu einem Entnahmebrunnen (KNOT)

Zur Berechnung des Zustroms zu einem Entnahmebrunnen wird eine geschlossene Kontrolllinie um einen Brunnen gelegt. Im Beispiel wird ein Brunnen (KNOT) mit einer Entnahme von -800000.0 m³/Jahr in der Modellmitte definiert.

Die Kontrolllinie (rot) liegt in einem Radius von ca. 400 m um den Entnahmebrunnen. Die Fläche des Kontrollvolumens (= umschriebene Fläche der Kontrolllinie) beträgt 560505 m², was zu einer Grundwasserneubildung (FLAE = 0.200 m³/m²/Jahr) in diesem Bereich von 112101 m³/Jahr führt. Das FE-Netz sieht im Ausgangszustand im Bereich des Brunnens folgendermaßen aus:

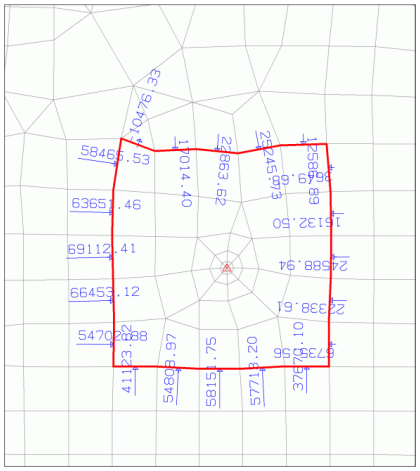


Abb. 247: Ausgangszustand der Brunnenberechnung

Nach einer Strömungsberechnung mit dem Modul SITRA (Teilsättigung, 5 Iterationen) erhält man eine in das Kontrollvolumen einströmende Menge von 702533 m³/Jahr (Ausgabedatei der Strömungsberechnung *out.**). Zusammen mit der Neubildungsmenge ergibt sich ein Zufluss von 814634 m³/Jahr, was einer prozentualen Abweichung von 1.8 % entspricht.

Durch eine Netzverfeinerung kann die prozentuale Abweichung weiter verringert werden.

Nach einer bereichsweisen Verfeinerung um das Kontrollvolumen errechnet sich die Zuflussmenge zu 112101 + 690024 = 802125 m³/Jahr. Damit hat sich die Abweichung bereits auf 0.3 % verringert.

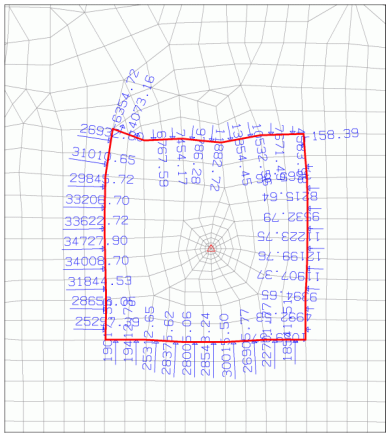


Abb. 248: Einfache Netzverfeinerung im Untersuchungsraum

9.2.4 Verwendung von Kontrolllinien zur Ermittlung von Uferfiltratmengen eines großen Hauptvorfluters (POTE)

Wenn Entnahmebrunnen in der Nähe eines großen Vorfluters liegen, fließt ein gewisser Prozentsatz Uferfiltrat in die Brunnen. Um diesen Anteil zu ermitteln, kann den Elementkanten parallel zum Vorfluter das Attribut KONT zugewiesen und eine Strömungsberechnung durchgeführt werden. Durch Darstellung der berechneten Kontrolllinienmengen können anhand der Pfeilrichtung die zu den Brunnen strömenden Mengen ermittelt werden. Das folgende Bild zeigt einen Ausschnitt:

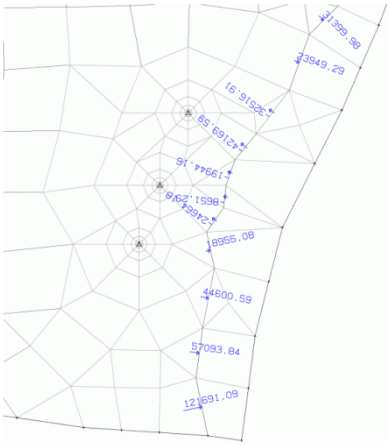


Abb. 249: Uferfiltratmengen des Hauptvorfluters

Durch Addition der zu den Brunnen strömenden Mengen wird die Uferfiltratmenge zu 127946 m³/a ermittelt. Bei einer Entnahmemenge der gesamten Brunnengalerie von 1450000 m³/a entspricht die Uferfiltratmenge einem Anteil von ca. 9 %.

9.2.5 Verwendung von Kontrolllinien zur Ermittlung des grundwasserbürtigen Zustroms zu einem Vorfluter (VORF)

Liegt ein Gewässer im Untersuchungsgebiet, das durch die Attribute VORF und LERA (oder LEKN) abgebildet wird, kann mit Hilfe der Kontrolllinien eine Massenbilanz im Umfeld des Gewässers aufgestellt werden. Dazu wird der Bereich um das Gewässer ein- bis zweimal verfeinert. Dann werden etwa parallel zum Gewässerverlauf auf beiden Seiten Kontrolllinien erzeugt.

Im Beispiel wird das Kontrollvolumen durch die beiden seitlichen Kontrolllinien im Westen und Osten, durch den Hauptvorfluter im Norden und eine gedachte Verbindung der Kontrolllinien im Süden gebildet. Die Massenbilanz muss im stationären Zustand identische Ein- und Ausflüsse ergeben.

Folgende Mengen müssen ermittelt werden:

- Einstrom (+) und Ausstrom (-) über die Kontrolllinien in das Kontrollvolumen (über KONT)
- Neubildung im Kontrollvolumen (über FLAE)
- Leakageentnahme über das Gewässer (über Leakagemengen)
- Ausstrom über die Potentiale im Mündungsbereich (über Reaktionsmengen)

Erzeugen der Kontrolllinien

Die Wassermenge, die bei der Kontrolllinienberechnung ermittelt wird, entspricht dem grundwasserbürtigen Zu- und Abstrom des Gewässers. Im Schlierenbild des Beispiels ist erkennbar, dass das Gewässer nur eine sehr geringe Anbindung hat, da die Schlieren hauptsächlich parallel und nicht zu dem Gewässer hinströmen.

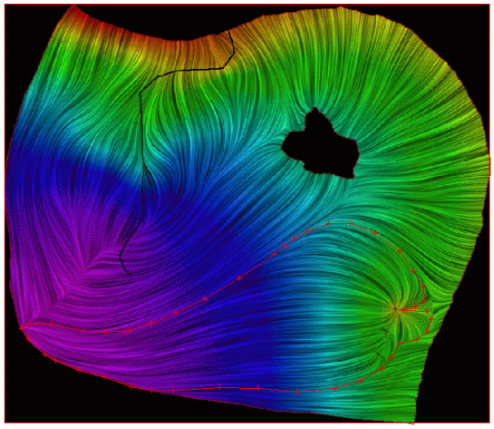


Abb. 250: Schlierenbild des Beispielmodells

Die Kontrolllinien werden erzeugt mit *Attribute → Zuweisen → Direkt* und Auswahl der Datenart "KONT". Nach der Strömungsberechnung lassen sich die Mengen, die über jede Elementkante strömen, sowie die Gesamtmenge einer Kontrolllinie, in der Ausgabedatei out.* ablesen.

Die Vorzeichen der angegebenen Mengen lassen sich am besten in einem Plot der Kontrolllinienberechnung ablesen, da sie von der Zuweisungsreihenfolge abhängen: Schaut man **IN** Zuweisungsrichtung, ist die Strömung von **rechts nach links** positiv!

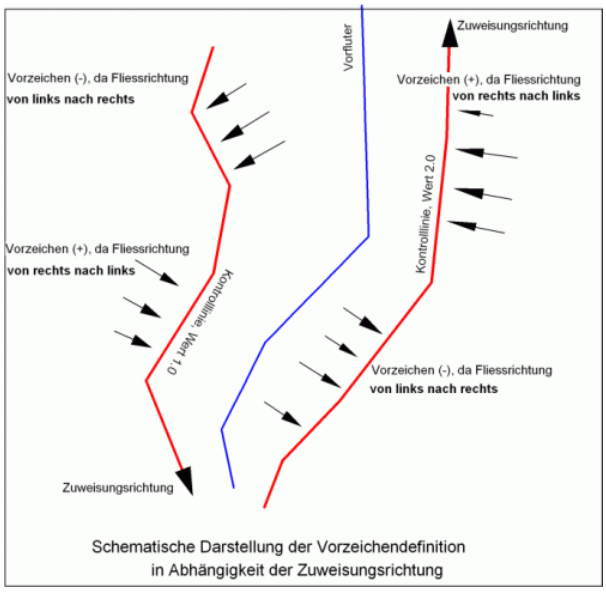


Abb. 251: Schema der Fließrichtung in Abhängigkeit der Zuweisungsrichtung

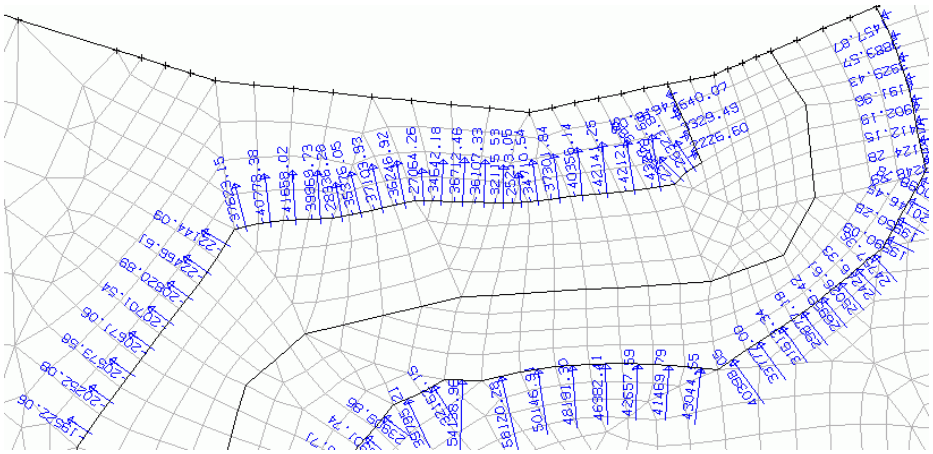


Abb. 252: Lage der Kontrolllinien und -mengen (Ausschnitt)

Auf der östlichen Seite gibt es einen Zustrom (+) in das Kontrollvolumen, und auf der westlichen Seite einen Abstrom (-) aus dem Kontrollvolumen.

Da die Gesamtmengen beider Kontrolllinien positiv sind, muss der Wert der westlichen Linie als Ausstrom und damit negativ in der Massenbilanz angesetzt werden. Nach einer stationären Berechnung mit dem Modul SITRA (Teilsättigung, 5 Iterationen) ergibt sich der Wert der westlichen Linie zu (-) 740284 m³/Jahr und die Menge der östlichen Linie zu (+) 808193 m³/Jahr.

Neubildungsberechnung

Nach Erzeugung der Kontrolllinien links und rechts des Gewässers, wird eine Flächenstruktur (*Struktur → Neu → Fläche*) definiert, die das gesamte Kontrollvolumen abdeckt. Mit *Ansicht → Fläche* berechnen (oder dem entsprechenden Button) wird in der Statusleiste der SPRING-Oberfläche die Größe der ausgewählten Fläche angezeigt. Im Beispiel liegt sie bei ca. 1975284 m². Dieser Wert wird mit der Neubildungsrate von 0.200 m³/m²/Jahr multipliziert, was eine Neubildungsmenge von ca. 395057 m³/Jahr ergibt.

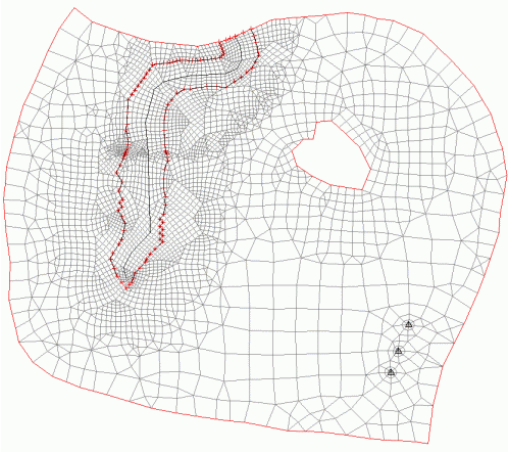


Abb. 253: Flächenstruktur für die Neubildungsberechnung

Ermittlung der Leakagemengen

Für die Ermittlung der Leakagemenge des Gewässers wird den Gewässerknoten das Attribut BILK zugewiesen. Dann wird die Leakagemenge in der Ausgabedatei bei den Massenbilanzen angegeben: sie beträgt -209405 m³/Jahr.

Ermittlung der Reaktionsmengen

Da das betrachtete Gewässer in einen Hauptvorfluter mit Festpotentialen mündet, muss der Ausstrom über den Potentialrand oder die Potentialrandbedingung im Kontrollvolumen ebenfalls berücksichtigt werden. Die Mengen werden in SPRING über *Attribute → Modelldaten/Berechnungsergebnisse importieren... → Reaktionsmengen → auf KKKK* eingelesen. Über *Attribute → Berechnen → Attribute Summieren...* werden die Reaktionsmengen der Knoten im Kontrollvolumen aufaddiert. Die Reaktionsmengen des linken und rechten "Randknotens" des Kontrollbereichs werden gemittelt und nur einmal addiert, da sie jeweils die halbe Reaktionsmenge der angrenzenden Elemente abdecken. So ergibt sich eine Reaktionsmenge von -260292 m³/Jahr.

Nachdem alle Werte ermittelt sind, kann die Massenbilanz für das Kontrollvolumen [m³/Jahr] aufgestellt werden:

395057	+ 808193	- 740284	- 209405	- 260292	=	-6731 [m³/Jahr]
Neubildung	Einstrom	Ausstrom	Leakage-menge	Reaktionsmenge	=!	0

Die Abweichung von -6731 m³ entspricht 0.6 % der negativen Wassermengen.

Mit einem solchen Bilanztest kann die Lage von Kontrolllinien überprüft werden. Die Genauigkeit einer Kontrolllinie hängt erheblich von der Diskretisierung und der Anströmrichtung ab: je senkrechter der Anstrom, desto genauer die aus der Geschwindigkeit abgeleitete Menge (Q = V * K * I).

9.2.6 Durchströmende Wassermenge in einem See (GLEI)

In einem Grundwassermodell können Situationen entstehen, bei denen bekannt ist, dass eine gewisse Anzahl von Knoten das gleiche Potential haben muss, der Wert aber unbekannt ist. Dies tritt z.B. auf bei:

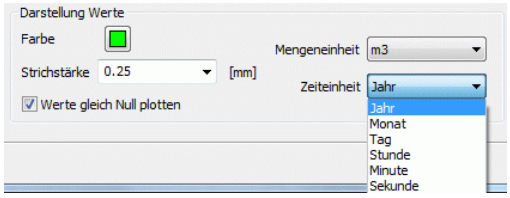
- offenen Gewässern bei einem Horizontal- oder 3D-Modell,
- entlang der benetzten Berandung eines Vertikalbrunnens bei einem Vertikalmodell,
- als Randbedingung für den Übergang von einem 2D- auf ein 3D-Gebiet,
- an den untereinander liegenden Brunnenknoten bei einem 3D-Modell.

Sind die Knoten unter der Datenart GLEI in der Netzdatei angegeben, ergibt sich bei der Strömungsberechnung für alle diese Knoten derselbe Potentialwert. Numerisch wird dies durch Addition der Gleichungen der entsprechenden Knoten realisiert; sie werden als eine Unbekannte behandelt.

Bei einem Vertikalbrunnen in einem 3D-Modell entfällt die Aufteilung der Entnahmemenge auf die vertikalen Knoten (sofern nicht wirklich z.B. durch mehrere Pumpen verschiedene Mengen über die Tiefe entnommen werden). Werden die untereinander liegenden Knoten gleichgesetzt, kann die gesamte Brunnenentnahme an irgendeinem dieser Knoten angesetzt werden.

9.2.6.1 Umsetzung in SPRING

Wird ein See mit dem Attribut GLEI charakterisiert, können die zu- und abfließenden Wassermengen nicht direkt aus der Ausgabedatei bzw. aus den Ergebnisdaten gelesen werden. Zunächst muss eine Modellberechnung (stationär oder instationär) durchgeführt werden. Im Anschluss werden über den Menüpunkt *Attribute → Modelldaten/Berechnungsergebnisse importieren…* die Ergebnisdaten (Potentiale) auf eine beliebige Kennung eingelesen. Über *Attribute → Knoten* bearbeiten kann der berechnete Potentialwert abgelesen werden. Dieser Wert wird als Attribut POTE den Seerandknoten zugewiesen, das Attribut GLEI wird gelöscht. Zum Ablesen der Reaktionsmengen in der Ausgabedatei wird den Seerandknoten zusätzlich das Attribut BILK (ganzzahliger Wert, dient zur Identifizierung der Bilanzgruppe) zugewiesen. Nach erfolgter Strömungsberechnung werden die Ergebnisdaten als "Werte" dargestellt. Bei dieser Darstellungsart können die Reaktionsmengen an den Knoten in eine gewünschte Mengeneinheit umgerechnet werden:



Gewählt wird die Einheit m³/Jahr. Das folgende Bild zeigt den See mit den berechneten Reaktionsmengen an den Knoten.

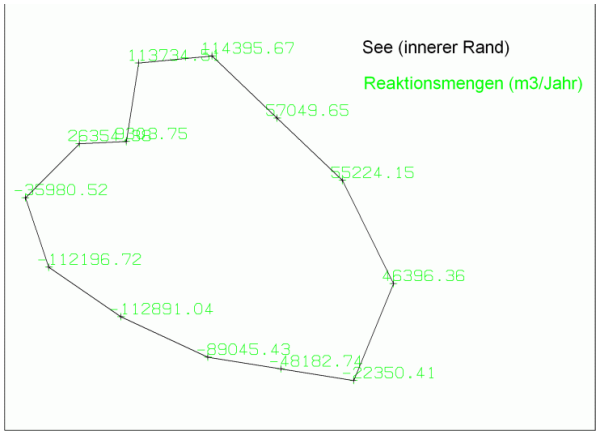


Abb. 254: Zu- und Abfluss in bzw. aus dem See

Die Durchstrommenge $Q_{ein} = Q_{aus}$ ergibt sich durch Addition der negativen oder positiven Werte. Je nach Diskretisierung des FE-Netzes weichen diese Werte zu einem geringen Prozentsatz voneinander ab:

Die Summe der Zuflüsse in den See (= negatives Vorzeichen → Abfluss aus dem Modell wegen des inneren Randes) ergibt eine Menge von 430646 m³/Jahr, die Summe der Abflüsse aus dem See (= positives Vorzeichen → Zufluss in das Modell) ergibt sich zu 422458 m³/Jahr. Die Gegenüberstellung ergibt eine Differenz von - 8188 m³/Jahr, dies entspricht einer prozentualen Abweichung von 0,5% der Durchstrommenge. Nach einer einmaligen Netzverfeinerung verringert sich die Abweichung auf -1032 m³/Jahr bzw. auf 0.2%, die Durchstrommenge beträgt ca. 416790 m³/Jahr.

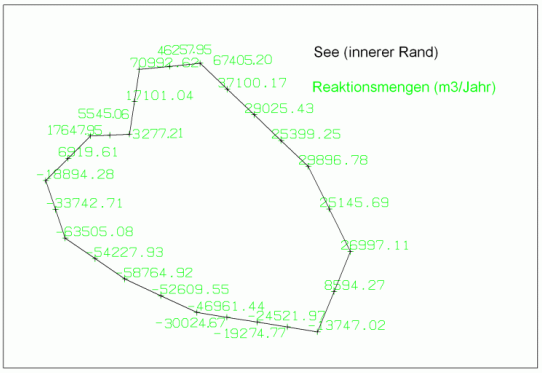


Abb. 255: Zu- und Abfluss in bzw. aus dem See nach einer Netzverfeinerung

9.3 Berechnung mittlerer Neubildungsraten

Zur Berücksichtigung mittlerer Grundwasserneubildungsraten stehen in SPRING drei Verfahren, teilweise für Nordrhein-Westfalen entwickelt, zur Verfügung:

- Neubildungsberechnung nach Schroeder und Wyrwich, ursprünglich entwickelt für das Münsterland [Schroeder und Wyrwich (1990): "Eine in Nordrheinwestfalen angewendete Methode zur flächendifferenzierten Ermittlung der Grundwasserneubildung" - Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, 34, Koblenz 1990.]
- Verfahren zur Grundwasserneubildungsberechnung nach Meßer, ursprünglich entwickelt für die Emscherregion [Meßer (2008): „Ein vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der flächendifferenzierten Grundwasserneubildung in Mitteleuropa“]
- Neubildungsberechnung mit dem Verfahren nach Bodenwasserbilanz

Die elementweise Berechnung der Neubildung erfolgt in SPRING über den Menüpunkt *Attribute → Berechnen... → Neubildung….*

9.3.1 Neubildungsberechnung nach Schroeder und Wyrwich

Das Verfahren nach Schroeder und Wyrwich basiert auf der umgestellten Wasserhaushaltsgleichung:

Grundwasser-Neubildung = Niederschlag - Gesamtverdunstung - Direktabfluss.

- **Grundwasser-Neubildung**: Sie wird aus allen eingegebenen Daten in SPRING berechnet und auf das Attribut FLAE (Spalte 16 "*") in der Einheit m³/m²/a zugewiesen. Voraussetzung ist die Zeiteinheit „Jahr“ in der Modelldatei.
- **Niederschlag**: Niederschlagsmenge, die in der Einheit m/Jahr für alle Elemente bzw. m³/m²/ZE elementweise (Spalte 16: „*“) eingegeben wird (Attribut NIED).
- **Gesamtverdunstung**: Die mittlere Gesamtverdunstungshöhe wird in Abhängigkeit vom Bodentyp und der Flächennutzungsklasse nach folgender Tabelle berücksichtigt (Werte in mm/Jahr, N steht für Niederschlag):

Flächennutzung / Bodentyp	**Acker, Grünland**	**Laubwald**	**Mischwald**	**Nadelwald**	**Bebaute Fläche**	**Wasserflächen**
Terrestrische Sandböden	380	480	540	600	0.2*N	1.0*N
Terrestrische Lehmböden	440	540	600	660	0.2*N	1.0*N
Semiterrestrische Böden	550	650	700	750	0.2*N	1.0*N

- **Direktabfluss**: Das noch verfügbare Wasser aus der Differenz zwischen Niederschlag und Verdunstung wird zusätzlich um den Direktabfluss reduziert. Dazu wird neben den Parametern Bodentyp und Flächennutzung auf Acker und Grünland die Reliefenergie bzw. das Gefälle benötigt. Als maßgebendes Gefälle im betroffenen Finiten Element wird das maximale Gefälle zwischen den Knoten (ggf. auch über die Diagonale) des Elements angesetzt, was das Programm automatisch aus der Geländehöhe an den einzelnen Knoten berechnet.

Der Direktabfluss ergibt sich in Abhängigkeit der Flächennutzung bei **Acker und Grünland** zu:

Bodentyp	**Reliefenergie [m/km²]**	**Gefälle [%]**	**Direktabfluss [%]**
Terrestrische Sandböden	0 - 20	0 - 2	0

	21 - 90	2 -9	0 - 100
	> 90	> 9	100
Terrestrische Lehmböden	0 - 60	0 - 6	0 - 100
	> 60	> 6	100
Semiterrestrische Böden	Ohne Bedeutung	Ohne Bedeutung	50

Bei den übrigen Flächennutzungen ist der Direktabfluss unabhängig vom Bodentyp und dem Gefälle:

Flächennutzung	**Direktabfluss [%]**
Laub-, Misch-, Nadelwald	0
Bebauung	90*
Wasserflächen	0

*: Abweichend von Schroeder und Wyrwich wird der Anteil des Direktabflusses auf bebauten Flächen mit 90% statt 100% angesetzt.

9.3.1.1 Eingangsdaten

Folgende Daten müssen für alle Elemente bzw. Knoten in der Modelldatei vorliegen:

- Geländehöhen (Attribut GELA). Zur Berechnung der Reliefenergie bzw. des Gefälles
- Niederschlag (Attribut NIED).
- Bodentyp (Attribut NSBT). Der Bodentyp muss entsprechend der folgenden Klassifizierung in der Modelldatei angegeben werden:

Bodentyp	**Klassifizierung (= NSBT)**
Terrestrische Sandböden	0
Terrestrische Lehmböden	10
Semiterrestrische Böden	20, 21, 22

- Flächennutzung (Attribut NSFN): Die Flächennutzung muss für alle Elemente entsprechend der folgenden Klassifizierung in der Modelldatei angegeben werden:

Flächennutzung	**Klassifizierung (= NSFN)**
Acker, Grünland	0
Laubwald	1
Mischwald	2
Nadelwald	3
Bebauung	4
Wasserflächen	5

Zur Ermittlung des Attributs NSFN kann auch die digitale Flächennutzungskarte des Regionalverbands Ruhr (RVR) genutzt werden. Je nach Format können die Daten als Struktur importiert und in SPRING zugewiesen werden.

Die Transformation des RVR-Codes (Stand: 07/2002) in den Nutzungsschlüssel für das Verfahren nach Schroeder und Wyrwich kann ohne zusätzliche Modelldaten über den Menüpunkt *Attribute → Berechnen → Neubildung → Nach Schroeder Wyrwich → Flächennutzung nach RVR-Code ermitteln (KVRN → NSFN)* durchgeführt werden.

Nach dieser Methode kann für jedes Finite Element die Grundwasserneubildung gemäß oben beschriebener, umgestellter Wasserhaushaltsgleichung bestimmt werden über:

Attribute → Berechnen → Neubildung→ Nach Schroeder Wyrwich → Neubildung berechnen (NSFN+NSBT+GELA+NIED → FLAE).

9.3.2 Neubildungsberechnung nach Meßer 2008

Das Verfahren nach Meßer basiert auf der umgestellten Wasserhaushaltsgleichung

Grundwasser-Neubildung = Niederschlag – reale Verdunstung - Direktabfluss.

- **Grundwasser-Neubildung**: Sie wird aus den Eingabedaten in SPRING berechnet und auf das Attribut FLAE (Spalte 16 "*") in der Einheit m³/m²/a zugewiesen. Voraussetzung ist die Zeiteinheit „Jahr“ in der Modelldatei.
- **Niederschlag**: Niederschlagsmenge, die in der Einheit m/Jahr für alle Elemente bzw. m³/m²/ZE elementweise (Spalte 16: „*“) eingegeben wird (Attribut NIED).
- **Reale Verdunstung**: Die reale Verdunstungshöhe wird in Abhängigkeit von der Klimazone, der Flächennutzung, des Bodentyps und der Flurabstandsklasse berücksichtigt.
- **Direktabfluss**: Das noch verfügbare Wasser aus der Differenz zwischen Niederschlag und Verdunstung wird anschließend um den Direktabfluss reduziert. Dazu wird neben den Parametern Bodentyp, Flurabstand und Flächennutzung die Reliefenergie bzw. das Gefälle benötigt. Als maßgebendes Gefälle im betroffenen Finiten Element wird das maximale Gefälle zwischen den Knoten (ggf. auch über die Diagonale) des Elements angesetzt, was das Programm automatisch aus der Geländehöhe an den einzelnen Knoten berechnet.

Eine ausführliche Beschreibung dieses Verfahrens findet sich auf dieser Website:

"Ein vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der flächendifferenzierten Grundwasserneubildung in Mitteleuropa".

9.3.2.1 Eingangsdaten

Folgende Daten müssen für alle Elemente bzw. Knoten in der Modelldatei vorliegen:

- Geländehöhen (Attribut GELA): Zur Berechnung der Reliefenergie bzw. des Gefälles
- Flurabstände (Attribut FLUR): Zur Bestimmung der Verdunstung und des Direktabflusses. Der Flurabstand kann in SPRING als Differenz aus GELA – EICH berechnet werden (*Attribute → Berechnen → Attribute verrechnen...* → GELA – EICH).
- Niederschlag (Attribut NIED).
- Bodentyp (Attribut NMBT): Der Bodentyp muss entsprechend der folgenden Klassifizierung in der Modelldatei angegeben werden (nFK = nutzbare Feldkapazität):

Bodentyp	Klassifizierung (= NMBT)
Sand nFK gering	1
lehmiger Sand nFK mittel	2
schluffiger Lehm nFK hoch	3
Lössböden	4
Pseudogley	5

- Flächennutzung (Attribut NMFN): Die Flächennutzung muss entsprechend der folgenden Klassifizierung in der Modelldatei angegeben werden:

Flächennutzung	Klassifizierung (= NMFN)
Landwirtschaftliche Nutzung	11
Acker	12
Grünland	13
Brache	14
vegetationslos	15
Laubwald	21
Mischwald	31
Nadelwald	41

Mischvegetation, Versiegelungsanteil 0%	51
Mischvegetation, Versiegelungsanteil 1-20%	52
Mischvegetation, Versiegelungsanteil 21-40%	53
Mischvegetation, Versiegelungsanteil 41-60%	54
Mischvegetation, Versiegelungsanteil 61-80%	55
Mischvegetation, Versiegelungsanteil 81-100%	56
Wasserflächen mit Ablauf	61
Wasserflächen ohne Ablauf	62
Halden, Deponie undifferenziert	71
Deponie in Betrieb (unbewachsen), nFK gering	72
Deponie rekultiviert (Mischvegetation), nFK gering	73
Halde in Schüttung (unbewachsen), nFK gering	74
Halde rekultiviert (Mischvegetation) nFK gering	75
Schlammteich vegetationslos, hohe nFK	76
Dachflächen entwässert	81
Asphalt, Beton entwässert	82
Betonverbund (neu), entwässert	83
Mosaik-/Kleinpflaster, entwässert	84
Rasengittersteine, entwässert	85
verdichtet, entwässert	86
versiegelt, nicht entwässert	91
Asphalt, Beton nicht entwässert	92
Betonverbund (neu), nicht entwässert	93
Mosaik-/Kleinpflaster, nicht entwässert	94

Zur Ermittlung der Datenart NMFN können standarisierte Flächennutzungskodierungen wie RVR-Code (Attribut KVNR), CORINE land use Daten (Attribut NCLC) oder ATKIS-Daten (Attribut NATK) verwendet werden. Je nach Format können die Daten als Struktur importiert und in SPRING zugewiesen werden.

- Gefälleklasse (Attribut NMGK): Als maßgebendes Gefälle im betroffenen Finiten Element wird das maximale Gefälle zwischen den Knoten (ggf. auch über die Diagonale) des Elements angesetzt, was das Programm automatisch aus der Geländehöhe an den einzelnen Knoten berechnet. Die Gefälleklasse muss entsprechend der folgenden Klassifizierung in der Modelldatei angegeben werden:

Gefälleklasse (NMGK)	**Reliefenergie [m/km²] bzw. Gefälle [%]**
1	0 - 20 bzw. 0 - 2
2	21 - 40 bzw. 2 - 4
3	41 – 100 bzw. 4 -10
4	> 100 bzw. > 10

Über den Menüpunkt *Attribute → Berechnen... → Neubildung → Nach Meßer 2008 → Gefälleklassen ermitteln (GELA → NMGK)* kann die Gefälleklasse automatisch in SPRING ermittelt werden.

- Flurabstandsklasse (Attribut NMFK): Die Flurabstandsklasse wird anhand der Flurabstände bestimmt und muss entsprechend der folgenden Klassifizierung in der Modelldatei angegeben werden:

Flurabstandsklasse [m]	**Klassifizierung (= NMFK)**
Flurabstand 0 -1	1

Flurabstand 1.0 – 2.0	2
Flurabstand 2.0 - 3.0	3
Flurabstand > 3.0	4

Über den Menüpunkt *Attribute → Berechnen... → Neubildung → Nach Meßer 2008 → Flurabstandsklassen ermitteln (FLUR → NMFK)* können die Flurabstandsklassen automatisch in SPRING ermittelt werden.

- Klimazonen (Attribut NMKL): Die Klimazonen können entsprechend der folgenden Klassifizierung in der Modelldatei angegeben werden:

Klimazone, abh. von pot. Evapotranspiration (ETpot)	**Klassifizierung (= NMKL)**
ETpot 400 – 480 mm/a	1
ETpot 480 – 500 mm/a	2
ETpot 500 – 520 mm/a	3
ETpot 520 – 540 mm/a	4
ETpot 540 – 580 mm/a	5
ETpot 580 – 640 mm/a	6

Sie können auch durch Eingabe der potentiellen Verdunstung (Attribut NETP, Einheit [m/ZE]) über den Menüpunkt *Attribute → Berechnen → Neubildung → Nach Meßer 2008 → Klimatop aus ETpot ermitteln (NETP → NMKL)* automatisch in SPRING ermittelt werden.

9.3.2.2 Ermittlung der realen Verdunstungshöhe

Sind alle Eingangsdaten für die Ermittlung der realen Verdunstungshöhe vorhanden (Attribute: NMKL, NMBT, NMFK, NMFN), wird in SPRING die reale Verdunstung NMET über den Menüpunkt *Attribute → Berechnen... → Neubildung → Nach Meßer 2008 → Verdunstung berechnen (…)* automatisch berechnet.

9.3.2.3 Ermittlung des Direktabflusses

Sind alle Eingangsdaten für die Ermittlung des Direktabflusses vorhanden (Attribute: NMGK, NMBT, NMFK, NMFN), wird in SPRING der Direktabfluss NMAD über den Menüpunkt *Attribute → Berechnen... → Neubildung → Nach Meßer 2008 → Direktabfluss berechnen (…)* automatisch berechnet.

Nach dieser Methode kann für jedes Finite Element die Grundwasserneubildung gemäß oben beschriebener, umgestellter Wasserhaushaltsgleichung bestimmt werden über:

SPRING → Attribute → Berechnen... → Neubildung → Nach Meßer 2008 → Neubildung berechnen (…).

9.3.3 Flächennutzungklasse aus RVR-Code

Für weite Teile des Ruhrgebiets liegen detaillierte digitale Flächennutzungsdaten des Regionalverbands Ruhr (RVR) als sog. Nutzungsartenkatalog der Flächennutzungskarte vor. Dieser Flächennutzungsschlüssel kann in die für SPRING erforderlichen Flächennutzungskennungen NSFN, für die Neubildungsberechnung nach Schroeder und Wyrwich, bzw. NMFN für die Neubildungsberechnung nach Meßer überführt werden. Dazu ist der RVR-Code über das Elementattribut KVRN bereitzustellen.

Anmerkung: Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die hier aufgeführte Transformation zwischen den einzelnen Nutzungsklassifizierungen auf Erfahrungswerten beruht, von denen im Einzelfall möglicherweise abzuweichen ist. Eine Überprüfung auf plausible Grundwasserneubildungsraten unter Zuhilfenahme einer zum RVR-Code passenden topographischen Karte wird daher empfohlen.

9.3.3.1 RVR-Code mit Flächennutzung nach Schroeder und Wyrwich

- RVR-Code 0 – 99, Flächennutzung (NSFN) nach Schroeder und Wyrwich

RVR-Code	RVR-Beschreibung	NSFN-Klassifizierung	NSFN-Flächennutzung
10	Bebaute Flächen, dem Wohnen dienend, bis 3 Geschosse	4	Bebauung
20	Bebaute Flächen, dem Wohnen dienend, bis 5 Geschosse	4	Bebauung
30	Bebaute Flächen, dem Wohnen dienend, über 5 Geschosse	4	Bebauung
40	Mischbauflächen	4	Bebauung
50	Gewerbeflächen	4	Bebauung
51	Gebäude / Anlagen	4	Bebauung
52	Lagerflächen	4	Bebauung
53	betriebliche Freiflächen (mögliche Reserveflächen)	4	Bebauung
54	Parkplatzflächen in Gewerbeflächen	4	Bebauung
55	städtischer Bauhof/Fuhrpark, Stadtwerke, Autobahnmeisterei, TÜV	4	Bebauung
56	Bus- und Straßenbahndepot	4	Bebauung
57	Messe- und Ausstellungsgelände	4	Bebauung
58	Fernmeldewesen	4	Bebauung
59	sonstige Flächen	4	Bebauung
60	Industrieflächen	4	Bebauung
61	Gebäude / Anlagen	4	Bebauung
62	Lagerflächen	4	Bebauung
63	betriebliche Freiflächen (mögliche Reserveflächen)	4	Bebauung
64	Parkplatzflächen	4	Bebauung
65	Lagerflächen für Rohstoffe (Kohle, Erz, etc.)	4	Bebauung
66	Sonstige Flächen	4	Bebauung
70	Bauflächen des Sports und der Erholung	4	Bebauung
71	Hallenbäder	4	Bebauung
72	Turn-, Tennis-, Eissport-, Reithallen	4	Bebauung
73	Mehrzweck- und Veranstaltungshallen	4	Bebauung
74	Stadion	4	Bebauung
75	bauliche Anlagen zu Sport- u. Freizeitstätten	4	Bebauung
76	Sonstige Flächen	4	Bebauung
80	Gemeindebedarfsflächen	4	Bebauung
81	öffentliche Verwaltungen, Strafvollzug	4	Bebauung
82	Gesundheitswesen (Krankenhäuser, Kliniken)	4	Bebauung
83	öffentliche, private Bildungseinrichtungen, Ausbildungszentren, Bibliotheken	4	Bebauung
84	Kindergärten, Hort, Jugend- u. Altenheime / Wohnanlagen	4	Bebauung

85	Kirchen u. Gemeindehäuser, Klöster	4	Bebauung
86	Polizei, Feuerwehr, Rettungsstationen, Bunkeranlagen	4	Bebauung
87	Post	4	Bebauung
88	Kulturstätten (Museen, Theater)	4	Bebauung
89	Sonstige Flächen (z.B. Tierheime)	4	Bebauung
90	Landwirtschaftliche Hof- und Gebäudeflächen	4	Bebauung
91	Gebäude u. Anlagen	4	Bebauung
92	Zuchtbetriebe, Geflügelfarmen, Legebatterien	4	Bebauung
93	Sonstige Flächen	4	Bebauung

- RVR-Code 100 – 199, Flächennutzung (NSFN) nach Schroeder und Wyrwich

RVR-Code	RVR-Beschreibung	NSFN-Klassifizierung	NSFN-Flächennutzung
100	Sonstige Bauflächen (militärisches Gelände)	4	Bebauung
101	Gebäude u. Anlagen	4	Bebauung
102	Freiflächen innerhalb des Geländes	4	Bebauung
103	Sonstige Flächen	4	Bebauung
110	Autobahn u. autobahnähnliche Straßen	4	Bebauung
140	Übergeordnete Straßen u. Hauptstraßen	4	Bebauung
150	Wohn- und Erschließungsstraßen	4	Bebauung
151	Wohn - und Erschließungsstraßen	4	Bebauung
152	Sonstige Wege / Straßen	4	Bebauung
160	Fußgängerzonen	4	Bebauung
170	Parkplatzflächen	4	Bebauung
171	Parkplatzflächen	4	Bebauung
172	Parkhäuser	4	Bebauung
173	Busbahnhöfe	4	Bebauung
174	Sonstige Flächen (z. B. Garagenhof nicht zu 10-40 gehörend)	4	Bebauung
180	Schienenverkehrsflächen und Nebenanlagen	4	Bebauung
181	Bahnhöfe	4	Bebauung
182	Betriebsgebäude (Güterbahnhöfe, Ausbesserungswerke, Lokschuppen)	4	Bebauung
183	Gleisanlagen (Stadtbahn, Straßenbahn)	0	Acker, Grünland
184	Sonstige Flächen	4	Bebauung
190	Flug- und Landeplätze	4	Bebauung
191	Gebäude und Anlagen	4	Bebauung
192	Landebahnen	4	Bebauung
193	Freiflächen	0	Acker, Grünland

194	Sonstige Flächen	4	Bebauung

- RVR-Code 200 – 299, Flächennutzung (NSFN) nach Schroeder und Wyrwich

RVR-Code	RVR-Beschreibung	NSFN-Klassifizierung	NSFN-Flächennutzung
200	Sonstige öffentliche Plätze	4	Bebauung
210	Energieversorgung	4	Bebauung
211	Gebäude und Anlagen	4	Bebauung
212	Lagerflächen	4	Bebauung
213	Umspannanlagen	4	Bebauung
214	Parkplatzflächen	4	Bebauung
215	Sonstige Flächen, z. B. Freiflächen	0	Acker, Grünland
220	Wasserversorgung	4	Bebauung
221	Gebäude und Anlagen, z. B. Pumpstationen, Wassertürme	4	Bebauung
222	Wassergewinnungsanlagen (Brunnen, Anreicherungsbecken, Brunnengalerien)	5	Wasserflächen
223	Sonstige Flächen, z. B. Freiflächen	0	Acker, Grünland
230	Abwasserbeseitigung	4	Bebauung
231	Gebäude und Anlagen	4	Bebauung
232	Klärteiche und -becken	5	Wasserflächen
233	Regenrückhaltebecken	5	Wasserflächen
234	Sonstige Flächen, z. B. Freiflächen	0	Acker, Grünland
240	Abfallbeseitigung	4	Bebauung
241	Müllverbrennungsanlagen, Rückgewinnungsanlagen	4	Bebauung
242	Gebäude und Anlagen	4	Bebauung
243	Deponieflächen	4	Bebauung
244	Rekultivierte Deponieflächen	4	Bebauung
245	Schlammablagerungen	4	Bebauung
246	Sammelstellen für Recycling / Kompostierungsflächen	4	Bebauung
247	Sonstige Flächen	0	Acker, Grünland
250	Schüttungsflächen für Erde, Schutt	0	Acker, Grünland
260	Abgrabungsflächen	0	Acker, Grünland
261	Gebäude und Anlagen (Förderanlagen, Umladestationen)	4	Bebauung
262	Abgrabungsflächen einschließlich der Sicherheitsstreifen und Randgrün	0	Acker, Grünland
263	Ausgebeutete, z. Z. ruhende, nicht verfüllte Flächen	0	Acker, Grünland
264	Ausgebeutete, verfüllte Flächen, wenn keine	0	Acker, Grünland

	anderweitige Nutzung vorliegt		
270	Öffentliche und private Grün- und Parkanlagen	0	Acker, Grünland
271	Gestaltete Grünflächen im hausnahen Bereich (Kriterien 10, 20, 30, 40)	0	Acker, Grünland
272	Grünanlagen (Parks, botanische Gärten, Zoo)	0	Acker, Grünland
273	Sonstige Grünflächen	0	Acker, Grünland
280	Friedhof	0	Acker, Grünland
281	Bauliche Anlagen	0	Acker, Grünland
282	Belegungs- und Grünflächen	0	Acker, Grünland
283	Erweiterungsflächen	0	Acker, Grünland
284	Sonstige Flächen	0	Acker, Grünland
290	Kleingärten	0	Acker, Grünland
291	Freiflächen im hausnahen Bereich (Kriterien 10, 20, 30, 40, 91)	0	Acker, Grünland
292	Dauerkleingärten, Kleingartenanlagen, Schrebergärten	0	Acker, Grünland
293	Grabeland	0	Acker, Grünland
294	Sonstige Flächen	0	Acker, Grünland

- RVR-Code 300 – 399, Flächennutzung (NSFN) nach Schroeder und Wyrwich

RVR-Code	RVR-Beschreibung	NSFN-Klassifizierung	NSFN-Flächennutzung
300	Spiel- und Sportanlagen	0	Acker, Grünland
301	Sportplätze	0	Acker, Grünland
302	Frei-, Strandbäder	4	Bebauung
303	Tennisplätze	4	Bebauung
304	Anlagen für den Wassersport (Sportbootliegeplätze, Stege)	4	Bebauung
305	Hundedressurplätze	0	Acker, Grünland
306	Reit-, Rennplätze	0	Acker, Grünland
307	Golfplätze	0	Acker, Grünland
308	Spiel-, und Bolzplätze	0	Acker, Grünland
309	Sonstige Freizeitanlagen (Minigolf, Schießstand, Freizeitpark, Autokino, Motocross, Verkehrsübungsplatz, Modellflugplatz)	4	Bebauung
310	Campingplätze	0	Acker, Grünland
311	Dauercamping, Wohnwagenstellplätze	0	Acker, Grünland
312	Zeltplätze	0	Acker, Grünland
313	Sonstige Flächen	0	Acker, Grünland
320	Begleitgrün	1	Laubwald
321	Gehölze	1	Laubwald

322	Rasen, Kleingehölze	1	Laubwald
323	Sonstige Flächen	0	Acker, Grünland
330	Fließende Gewässer	5	Wasserflächen
331	Fließgewässer	5	Wasserflächen
332	Ausgebaute Gewässer	5	Wasserflächen
333	Sonstige Gewässer	5	Wasserflächen
340	Kanäle und Häfen	5	Wasserflächen
341	Schleusenanlagen	5	Wasserflächen
342	Kanäle	5	Wasserflächen
343	Hafengewässer	5	Wasserflächen
344	Sonstige Flächen	5	Wasserflächen
350	Seen und Teiche	5	Wasserflächen
351	naturnahe, stehende Gewässer	5	Wasserflächen
352	Ausgebaute, stehende Gewässer (Bade-, Boot- und Surfgewässer)	5	Wasserflächen
353	Abgrabungsgewässer	5	Wasserflächen
354	Teiche in Parkanlagen	5	Wasserflächen
355	Fischzuchtgewässer	5	Wasserflächen
356	Sporthäfen	5	Wasserflächen
357	Sonstige Flächen	5	Wasserflächen
360	Dauerwiesen und Weiden	0	Acker, Grünland
361	Wiesen und Weiden	0	Acker, Grünland
362	Obstwiesen und Obstweiden	0	Acker, Grünland
363	Sonstige Flächen	0	Acker, Grünland
370	Ackerflächen	0	Acker, Grünland
380	Erwerbsgartenbau	0	Acker, Grünland
381	Bauliche Anlagen (Treibhäuser)	4	Bebauung
382	Anbauflächen, Sonderkulturen, Baumschulen	0	Acker, Grünland
383	Sonstige Flächen	0	Acker, Grünland

- RVR-Code 400 – 499, Flächennutzung (NSFN) nach Schroeder und Wyrwich

RVR-Code	RVR-Beschreibung	NSFN-Klassifizierung	NSFN-Flächennutzung
400	Laubwald	1	Laubwald
410	Nadelwald	3	Nadelwald

420	Mischwald	2	Mischwald
430	Gehölzbestände	1	Laubwald
431	Gehölzbestände	1	Laubwald
432	Baumgruppen und Baumreihen	1	Laubwald
433	Sonstige Flächen	1	Laubwald
440	Aufforstungsflächen	2	Mischwald
441	Aufforstungen und Anpflanzungen	2	Mischwald
442	Kahlschlag	0	Acker, Grünland
450	Wohnbrache	0	Acker, Grünland
451	Ungenutzte Flächen innerhalb von Wohnbereichen (Baulücken)	0	Acker, Grünland
452	z. Z. ungenutzte Flächen mit erkennbaren Erschließungsmaßnahmen	0	Acker, Grünland
453	z. Z. ungenutzte Flächen, die im FNP für Wohnbebauung vorgesehen sind	0	Acker, Grünland
454	Sonstige Flächen, die z. B. im FNP für andere Nutzungen vorgesehen sind	0	Acker, Grünland
460	Gewerbliche und industrielle Brachflächen	0	Acker, Grünland
461	z. Z. ungenutzte Flächen mit erkennbaren Erschließungsmaßnahmen	0	Acker, Grünwald
462	z. Z. ungenutzte Flächen, die im FNP für Gewerbe- und Industrieansiedlungen vorgesehen sind	0	Acker, Grünland
463	Sonstige Flächen, die z. B. im FNP für andere Nutzungen vorgesehen sind	0	Acker, Grünland
470	Nichtgenutzte Flächen der Land- und Forstwirtschaft	0	Acker, Grünland
471	Landwirtschaftliche Brachen	0	Acker, Grünland
472	Verbuschte Brachflächen	2	Mischwald
473	Sonstige Flächen, die z. B. im FNP für Grünflächen vorgesehen sind	0	Acker, Grünland
480	Zechenbrachen	0	Acker, Grünland
481	Gebäude und Anlagen	4	Bebauung
482	Geräumte, ungenutzte Betriebsflächen	0	Acker, Grünland
483	Sonstige Flächen	0	Acker, Grünland
490	Nichtgenutzte Verkehrsflächen	4	Bebauung

- RVR-Code 500 – 510, Flächennutzung (NSFN) nach Schroeder und Wyrwich

RVR-Code	RVR-Beschreibung	NSFN-Klassifizierung	NSFN-Flächennutzung

500	Halden	4	Bebauung
501	Halden, in Schüttung oder Abtragung befindlich	4	Bebauung
502	Rekultivierte Halden, auch Teile einer Halde	4	Bebauung
503	Sonstige Flächen	4	Bebauung

Literatur: [*Regionalverband Ruhr, Abt. Karten-/Luftbildwesen und Stadtklimatologie (Hrsgb., 2002): " Nutzungsartenkatalog der Flächennutzungskartierung / FNK", Stand der Daten: 10.07.2002, RVR, Essen*]

9.3.3.2 RVR-Code mit Flächennutzung nach Meßer

Für das Verfahren nach Meßer, Version 2008 ist kein Versiegelungsanteil für die Umrechnung des RVR-Codes (Stand: 07/2002) in die Flächennutzung nach Meßer mehr erforderlich.

Für die Überführung der Flächennutzungsdaten aus dem RVR-Code bzw. aus anderen Flächenkodierungen wie CORINE land use Daten oder ATKIS-Daten in das Attribut NMFN wurde von Meßer eine Berechnungsroutine entwickelt. Diese Umrechnung basiert auf dbase-Dateien, die während der Installation von SPRING im Verzeichnis „C:\Users\Public\Documents\SPRING\Konfig“ (Windows 7 oder Windows Vista) abgelegt werden. Dieser Pfad variiert je nach Betriebssystem oder Festplattenpartitionierung (z.B. unter Windows XP: „C:\Documents and Settings\All Users\Documents\SPRING\Konfig“).

Bei Flächennutzungsdaten im Format RVR-Code werden die Daten als Struktur importiert und auf das Attribut KVRN zugewiesen. Anschließend wird über *Attribute → Berechnen → Neubildung → Nach Meßer 2008 → Flächennutzung aus RVR-Code ermitteln (KVRN → NMFN)* mit Hilfe der dbase-Datei das für die Berechnung der Verdunstung und des Direktabflusses notwendige Attribut NMFN erzeugt.

Liegen Flächennutzungsdaten im ATKIS Format vor, so ist wie bei den Daten im RVR-Code zu verfahren, allerdings müssen die ATKIS Daten auf das Attribut NATK zugewiesen werden.

9.3.4 Neubildungsberechnung nach Bodenwasserbilanz

Das Verfahren der (instationären) Berechnung der Neubildungsraten auf Landflächen nach Bodenwasserbilanz beruht auf den theoretischen Grundlagen, die im DVWK-Merkblatt 238/1996 "Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen" detailliert beschrieben sind.

Bei der Neubildungsberechnung nach Bodenwasserbilanz wird die maßgebliche Rolle des Bodens als Wasserspeicher durch Einbeziehung der folgenden Komponenten berücksichtigt:

- potentielle Verdunstung (ET_p): Verdunstung von Oberflächen bei gegebenen meteorologischen Bedingungen und unbegrenzt verfügbarem Wasser. Die mögliche Verdunstung ist eine Rechengröße, die aus gemessenen meteorologischen Werten bestimmt wird (aus: DVWK-Merkblatt 238/1996).
- Feldkapazität (FK): Die Feldkapazität ist das Wasserhaltevermögen des Bodens gegenüber der Schwerkraft. Die Feldkapazität ist der maximale Wassergehalt, den ein Boden unter natürlichen Bedingungen halten kann.
- permanenter Welkepunkt (PWP): Der permanente Welkepunkt beschreibt den pflanzenartabhängigen Wassergehalt eines Bodens, bei dessen Unterschreitung kein pflanzenverfügbares Wasser mehr vorhanden ist (aus: Müller, Tibor: "Wörterbuch und Lexikon der Hydrogeologie"). Er ist daher der niedrigste Wassergehalt, den ein Boden unter natürlichen Bedingungen erreicht. Er ist von der Boden- und Pflanzenart abhängig.
- nutzbare Feldkapazität (nFK): Der Teil der Feldkapazität, der von den Pflanzen durch die Wurzeln aufgenommen werden kann, wird nutzbare Feldkapazität genannt (aus: Müller, Tibor: "Wörterbuch und Lexikon der Hydrogeologie"). Die nutzbare Feldkapazität ergibt sich somit aus der Differenz Feldkapazität - permanenter Welkepunkt (nFK = FK - PWP).
- effektive Wurzeltiefe (W_e): Die effektive Wurzeltiefe liegt etwa bei 50 - 60 % der maximalen Wurzeltiefe. Sie kennzeichnet das Bodenvolumen, in dem der Bodenwasserhaushalt intensiv durch pflanzlichen Wasserverbrauch beeinflusst ist.

Da sich die Neubildungsberechnung nach Bodenwasserbilanz in erster Linie auf natürliche unbebaute Flächen bezieht, ein Grundwassermodell in der Regel aber auch bebaute Flächen umfasst, werden diese Flächen in SPRING weiterhin durch die Methode der Neubildungsberechnung nach Schroeder und Wyrwich berücksichtigt.

Das Neubildungsberechnungsverfahren nach Bodenwasserbilanz, so wie es derzeit in SPRING implementiert ist, befindet sich in einer Entwicklungsphase. Daher können sich in Zukunft durchaus Änderungen hinsichtlich

der benötigten Daten und Eingabedateien ergeben. Die aktuellste Programmbeschreibung findet sich immer in der Webhilfe auf unserer Homepage unter dem Menüpunkt "Download&Support: Handbuch SPRING 4.0".

9.3.4.1 Eingangsdaten in der Modelldatei

Folgende Daten müssen für alle Elemente bzw. Knoten flächendeckend für die oberste Element- bzw. Knotenschicht in der Modelldatei vorliegen:

- Geländehöhen (Attribut GELA). Zur Berechnung der Reliefenergie bzw. des Gefälles zur Berücksichtigung des neigungsbedingten Oberflächenabflusses nach Schroeder und Wyrwich.
- Eichpotentiale: Zur Berechnung des Flurabstands. Die Umrechnung von Knoten- in Elementwerte erfolgt automatisch innerhalb der Neubildungsberechnung.
- Bodentyp (Attribut NSBT): Der Bodentyp muss entsprechend der folgenden Klassifizierung in der Modelldatei als Elementattribut angegeben werden:

Bodentyp	Klassifizierung (= NSBT)
Terrestrische Sandböden	0
Terrestrische Lehmböden	10
Semiterrestrische Böden	20, 21, 22

- Versiegelungsgrad (Attribut VERS): Der Versiegelungsgrad wird elementweise in der Einheit [%] angegeben. Er ist erforderlich zur Berechnung des versiegelungsbedingten Oberflächenabflusses.
- Flächennutzungsklasse (Attribut NSFN): Die Flächennutzungsklasse muss für alle Elemente entsprechend der folgenden Klassifizierung in der Modelldatei angegeben werden:

Flächennutzung	Klassifizierung (= NSFN)
Acker, Grünland	0
Laubwald	1
Mischwald	2
Nadelwald	3
Bebauung	4
Wasserflächen	5

9.3.4.2 Instationäre Klimadaten

Zunächst ist eine Datei mit Tageswerten zu Niederschlag, potentieller Verdunstung (Einheit [mm]) und Temperatur bereitzustellen. Die Spalte mit den Temperaturen wird zwar zurzeit nicht genutzt, wird aber vom Programm erwartet. Die Datei ist als "formatierter Text (Leerzeichen getrennt)" mit dem Dateinamen "niedevap.prn" im Verzeichnis der Modelldatei bereitzustellen. Jede Spalte der Datei muss 10 Zeichen breit sein.

Beispiel der Datei "niedevap.prn":

```
         1         2         3         4
1234567890123456789012345678901234567890
----------------------------------------
Datum     N [mm]    ETp(Haude)T [14:30h]
01.11.2004       0.0   0.67170      11.2
02.11.2004       0.0   0.36714       9.8
03.11.2004       1.4   0.66568      13.5
04.11.2004       3.3   0.18652      13.2
05.11.2004       1.2   0.81364      10.7
06.11.2004       2.2   0.62583      10.6
07.11.2004       0.0   0.81942       9.8
08.11.2004       0.0   1.03164       9.6
----------------------------------------
         1         2         3         4
1234567890123456789012345678901234567890
```

9.3.4.3 Globale Bodenparameter

Globale Bodenparameter können in der Datei "bopa.txt" definiert werden. Die Datei ist im Verzeichnis der Modelldatei bereitzustellen. Ist eine solche Datei vorhanden, werden die Standardparameter durch diese ersetzt. Befindet sich keine Datei "bopa.txt" erstellt, werden folgende Standwerte benutzt.

Aufbau der Bodenparameterdatei "bopa.txt" mit Standardwerten:

Zeile	Bedeutung	Standardwerte
1	Mittlere Feldkapazität in [%]: 1. Wert: Sandböden, 2. Wert: Lehmböden	10., 15.
2	Effektive Wurzeltiefe in [dm]: 1. Wert: Acker/Grünland, bebaute Bereiche, 2. Wert: Wald	3., 6.
3	Permanenter Welkepunkt in[%]: 1. Wert: Sandböden, 2. Wert: Lehmböden	3., 4.
4	Korrekturfaktor möglicher Übersättigung über Feldkapazität	1., 1.

Beispiel einer Bodenparameterdatei "bopa.txt":

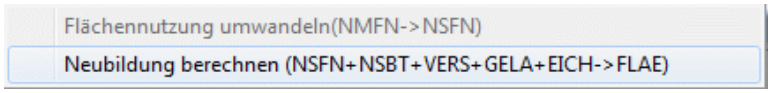
```
20.,40
3.,6
4.,10
1.0,1.2
```

Mit dem Korrekturfaktor kann eine Übersättigung des Bodens über die Feldkapazität berücksichtigt werden, die möglicherweise bei schweren Böden erst nach 1 bis 2 Tagen abgebaut ist. Bei Sand ist der Korrekturfaktor mit 1, bei schweren Böden ist er maximal mit 1,2 anzusetzen (aus: DVWK 238/1996).

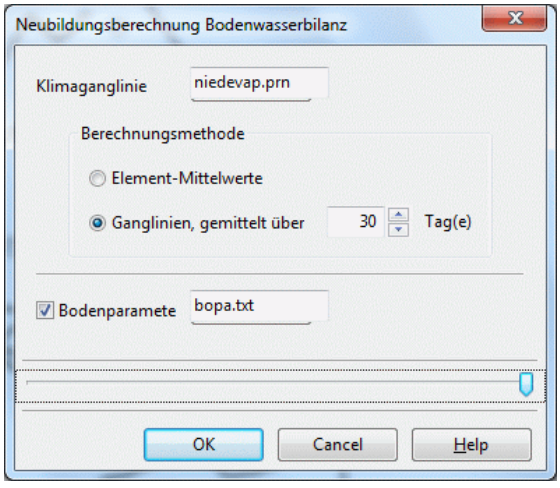
Es wird keine kapillare Aufstiegsrate angesetzt.

9.3.4.4 Eingabedialog in SPRING

Im Gegensatz zu den Berechnungsmethoden nach Schroeder und Wyrwich bzw. nach Meßer 2008 öffnet sich nach Anklicken des Menüpunkts "Neubildung berechnen":



ein weiterer Dialog, der folgende Eingaben erfordert:



Klimaganglinie

Im Eingabefenster wird der Name der Datei mit den instationären Klimadaten eingegeben.

Berechnungsmethode

Bei Aktivierung des Buttons "Element-Mittelwerte" wird die mittlere Grundwasserneubildung (FLAE) für jedes Element berechnet.

Bei Aktivierung des Buttons "Ganglinien, gemittelt über" wird für alle x Tage die jeweils über das Intervall gemittelte Neubildung für jedes Element berechnet.

Die instationären Werte werden während des Berechnungsvorgangs intern abgelegt und können über *Extras → Instationär → Instationäre Eingabedatei exportieren…* in einer instationären Eingabedatei gespeichert werden.

Bodenparameter

Bei Aktivierung des Kontrollkästchens kann eine Datei mit benutzerspezifischen Bodenparametern angegeben werden. Ansonsten wird die Datei "bopa.txt" mit den voreingestellten Werten bei der Berechnung berücksichtigt.

9.4 Berechnung einer instationären Neubildungsrate

(Bei der im folgenden beschriebenen Anwendung handelt es sich um eine vorläufige Testversion!)

Im Rahmen der Forschungsarbeit "Grundwasserstandsentwicklung infolge des Klimawandels am Beispiel der Stadt Düsseldorf" (delta h Ingenieurgesellschaft mbH / Institut für Angewandte Physische Geographie RUB, 2014) wurde ein Verfahren zur Ermittlung instationärer flächen-differenzierter Grundwasserneubildungsraten entwickelt, welches auf Grundlage eines Bodenwasser-Haushaltsmodells basiert. Das Verfahren ist unter dem Menüpunkt RUBINFLUX in SPRING integriert.

Die folgende Abbildung zeigt die relevanten Bilanzkomponenten zur Ermittlung der täglichen Sickerwassermenge in Abhängigkeit der Niederschlagsmenge, die im Grundwassermodell als "Grundwasserneubildung" angesetzt wird.

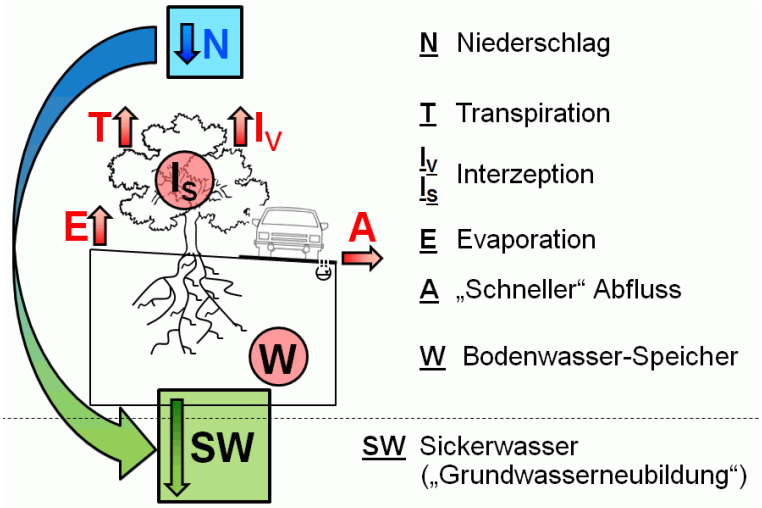


Abb. 256: Bilanzgrößen zur Ermittlung der Grundwasserneubildung

- Transpiration, Interzeption und Evaporation sind die Komponenten der tatsächlichen ("aktuellen") Verdunstung. Sie werden durch physikalische (z.B. Wärmeabstrahlung), astronomische (z.B. Sonnenstand) und klimatische (z.B. aktuelle Temperatur) Zwänge sowie standort-bedingte Einschränkungen (z.B. Nutzung, Bewuchs, Boden) limitiert.
- "Schnelle" Abflusskomponenten werden durch die Faktoren Gefälle, Bodennutzung, -klasse und -feuchte (Anteil A_{SCS}[1]) sowie dem Befestigungs- bzw. Versiegelungsgrad am betrachteten Standort (Anteil A_{VERS}) bestimmt. Die Niederschlagsmenge N wird dabei um den Anteil des schnellen Abflusses aus bodenabhängigen Parametern und Gefälle (A_{SCS}) reduziert, wenn das Attribut GGRD zugewiesen ist.
- Bodenwasser-Speicher: Seine Größe setzt sich zusammen aus den Anteilen der (nutzbaren) Feldkapazität und des permanenten Welkepunkts des Bodens.

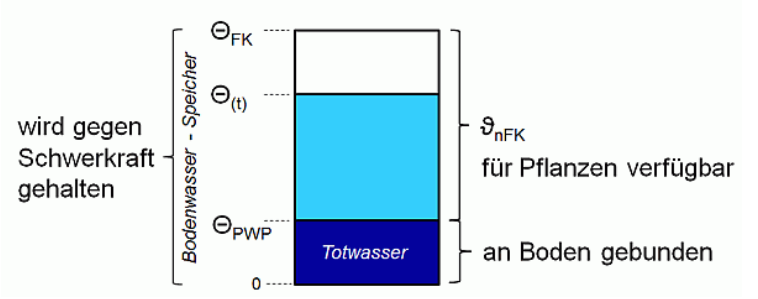


Abb. 257: Wasser-Anteile im Bodenwasserspeicher

9.4.1 Eingangsdaten in der Modelldatei

Folgende Daten müssen für alle Elemente in der Modelldatei vorliegen:

- Versiegelungsgrad (Attribut VERS, optional): Der Versiegelungsgrad wird in der Einheit [%] angegeben. Er ist erforderlich zur Berechnung des versiegelungsbedingten "schnellen" Abflusses.

[1] nach Soil Conservation Service (U.S. Department of Agriculture), modifiziert nach WILLIAMS

- Gefällegradient (Attribut GGRD): Für Elemente, auf die das Attribut GGRD nicht zugewiesen wurde, wird die schnelle Abflusskomponente A_{SCS} nicht von der Niederschlagsmenge abgekoppelt.
- Lagehöhe (Attribut NKLH): NKLH ist für die Berechnung der Grasreferenzverdunstung erforderlich und bezieht sich auf das Niveau des Meeresspiegels (z.B. m NN, m NHN, mamsl).
- Geographische Breite (Attribut NKBR): NKBR ist für die Berechnung der Grasreferenzverdunstung erforderlich. Die Einheit ist [°].
- Flächennutzung (Attribut NKFN) [Nr.]: Die Angabe der Flächennutzung erfolgt über die ID-Zuordnung gemäß den Definitionen in den Dateien für die globalen Standortparameter (s.u.). Sofern keine eigenen Definitionen vorgenommen werden, entsprechen die Nutzungsarten folgender Tabelle:

ID	Nutzung
1	Grünland
2	Acker
3	Gartenland
4	Baumschule / Obstplantage
5	Fließgewässer
6	Stehendes Gewässer
7	Wohnbau, Industrie, Gewerbe, Schiffsverkehr, Flughafen, öffentliche Einrichtungen, sonstige Flächen mit Gebäuden
8	Gemischte Nutzung (Versiegelt + zugehörige Freifläche, z.B. Bauernhof), Brachflächen
9	Halde
10	Tagebau, Grube, Steinbruch
11	Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche, Friedhof, Spielplätze
12	Verkehrsflächen
13	Nadelwald, Baumbestand/Baumreihe aus Nadelholz
14	Laubwald, Baumbestand/Baumreihe aus Laubholz
15	Hecken, Gebüsch, Streuobst
16	Mischwald, Baumbestand/Baumreihe aus Laub- und Nadelholz bzw. ohne Differenzierung
17	Röhricht, Schilf
18	unbekannte Nutzung
19	vegetationslose Fläche
20	Heide

- Bodenklasse (Attribut NKBT) [Nr.]: Die Angabe der Bodenklasse erfolgt über die ID-Zuordnung gemäß den Definitionen in den Dateien für die globalen Standortparameter (s.u.). Sofern keine eigenen Definitionen vorgenommen werden, wird die Verschlüsselung nach BK50 zugrunde gelegt:

Abb. 258: Bodenarten nach BK50

- Klimadaten-ID (Attribut NKID) [Nr.]: Für die Zuordnung der Klimadaten-Zeitreihen ist den Elementen eine Klimadaten-ID zuzuordnen. Die Klimadaten-ID ist Teil des Namens der Datei, welche die zugehörigen

Klimadaten für das entsprechende Element enthält. Beispiel: Klimazone 1008 → NKID = 1008 → Dateiname = input_id1008.csv.

Aufbau einer Datei:

```
Datum;P;T;S;ea;u2
01.01.2004;0.00;-0.10;0.00;4.50;3.15
02.01.2004;0.00;-1.40;6.30;3.90;3.07
03.01.2004;0.00;-2.70;0.00;3.80;1.61
04.01.2004;2.80;0.00;0.00;5.30;3.39
05.01.2004;5.86;3.40;0.00;6.90;2.58
06.01.2004;7.76;5.30;0.00;8.00;4.28
```

mit:

P = Niederschlag [mm/d]

T = Temperatur [C°]

S = Sonnenscheindauer [h/d]

ea = Dampfdruck [hPa]

u2 = Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe über GOK [m/s]

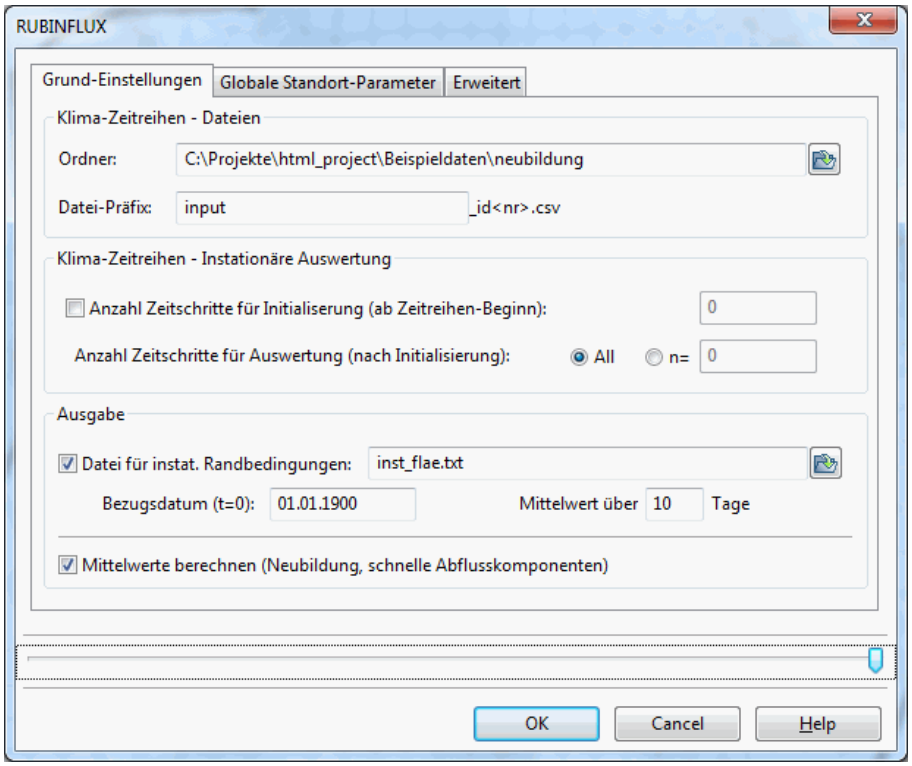
Diese Zeitreihen müssen durch den Anwender bereit gestellt werden. Alle Klima-Zeitreihen müssen mit demselben Anfangsdatum beginnen und in Tagesschritte aufgelöst sein. Das Datei-Verzeichnis wird innerhalb des Eingabe-Menüs abgefragt.

- Wassergehalt bei Feldkapazität (Attribut NKFK): Der Wassergehalt bei Feldkapazität kann z.B. anhand der BK50 ermittelt werden. Die Einheit des Attributs NKFK ist [Vol.-%].
- Wassergehalt bei permanentem Welkepunkt (Attribut NKWP): Der Wassergehalt bei permanentem Welkepunkt kann z.B. anhand der BK50 ermittelt werden. Die Einheit des Attributs NKWP ist [Vol.-%].

9.4.2 Eingabedialog in SPRING

Die Berechnung erfolgt in SPRING derzeit über den Menüaufruf *Extras → RUBINFLUX*. .

Es erscheint das Eingabefenster "Grund-Einstellungen":



Klima-Zeitreihen - Dateien

Hier wird festgelegt, in welchem lokalen Ordner sich die Klima-Zeitreihen-Dateien befinden. Das Datei-Präfix muss für alle Klima-Dateien identisch sein. Beispiel:

Präfix = klima, dann lauten die Dateinamen: klima_id10001.csv, klima_id10001.csv (für Elemente mit NKID=10001), klima_id50.csv (für Elemente mit NKID=50) usw. Alle Klima-Zeitreihen müssen mit demselben Anfangsdatum beginnen.

Klima-Zeitreihen - Instationäre Auswertung

Mit dieser Eingabe lässt sich der Abschnitt einer Zeitreihe festlegen, für den eine Neubildungsberechnung vorgenommen werden soll. Läuft die Zeitreihe über mehrere Jahre, wird über die Anzahl der Zeitschritte für die Initialisierung festgelegt, ab wann die Daten als instationäre Randbedingung exportiert werden sollen. Mit der Angabe der Zeitschritte nach der Initialisierung wird festgelegt, bis wann die Daten berechnet und exportiert werden sollen.

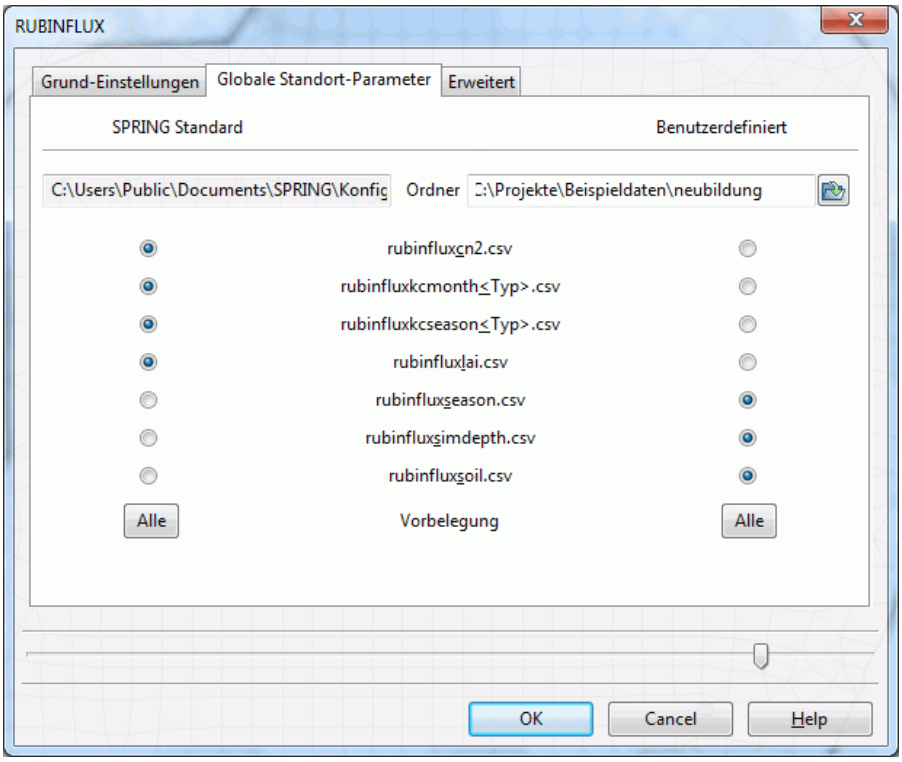
Ausgabe

Der Name für die Ausgabedatei mit den instationären Randbedingungen wird festgelegt, ebenso wie das Bezugsdatum in der instationären Datei. Der Anwender kann über die Angabe der Mittelung festlegen, ob die instationäre Neubildung für jeden Tag (Mittelung = 1) oder z. B. nur für jeden 10. Tag (Mittelung = 10, entspricht dem Mittelwert über 10 Tage) in die Datei mit den instationären Randbedingungen geschrieben wird.

Durch Aktivieren der Checkbox werden die Element-Mittelwerte der Neubildung (Attribut FLAE) und der schnellen Abflusskomponenten berechnet. Die schnelle Abflusskomponente aus bodenabhängigen Parametern A_{SCS} wird auf das Attribut NKAG und die versiegelungsabhängige Abflusskomponente A_{VERS} wird auf das Attribut NKAV zugewiesen.

9.4.2.1 Globale Standort-Parameter

Nach Auswahl der Registerkarte "Globale Standort-Parameter" erscheint das folgende Eingabefenster:



Die Dateien mit den Standard-Parametern sind im Verzeichnis "C:\Users\Public\Documents\SPRING\Konfig" (Windows 7) abgelegt. Sie enthalten Daten bezüglich Bodentyps (_soil), Vegetationsperiode (_season), Blattflächenindex (_lai), SCS-Parametern (_cn2), Simulationstiefe (_simdepth) und Bestandskoeffizienten (_kc_season, _kc_month). Diese Dateien können auch benutzerdefiniert zur Verfügung gestellt und in einem anderen Verzeichnis abgelegt werden.

Für das Format der *.csv-Dateien gilt: Spalten-Trennzeichen = Semikolon, Dezimal-Trennzeichen = Punkt oder Komma.

Während der Berechnung der instationären Neubildung erfolgt eine "on-the-fly"-Verlinkung der zugrunde gelegten Tabellen anhand der im Modell vorhandenen Elementdaten. Somit können verschiedene Parameter-Kombinationen getestet werden, ohne die SPRING-Sitzung zu unterbrechen.

9.4.2.2 Erweitert

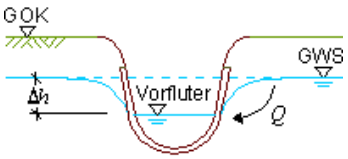
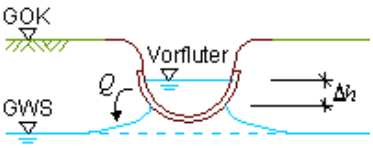
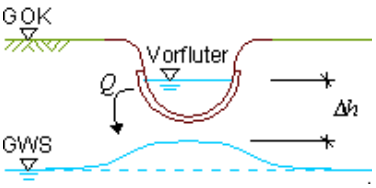
Die Programmsteuerung über die Kommandozeilen-Parameter dient derzeit ausschließlich zu Weiterentwicklungs-Zwecken. Die Benutzung ist den Entwicklern vorbehalten.

9.5 Leakage-Beziehungen und Vorflutinteraktionen

Befindet sich ein großer Vorfluter im Modellgebiet oder am Gebietsrand, besteht oft ein direkter Kontakt mit dem Grundwasser. Die Wasserspiegelhöhe kann dann als festes Potential (POTE) an den entsprechenden Knoten angesetzt werden. Die resultierende Ein- oder Ausflussmenge ergibt sich als Reaktionsmenge. Wenn das Oberflächengewässer Wasser aus dem Grundwasserleiter aufnimmt, spricht man von Exfiltration. Wenn das Oberflächengewässer Wasser in den Grundwasserleiter abgibt, bezeichnet man dies als Infiltration.

Kleinere Gewässer haben meistens keinen direkten Grundwasserkontakt. Aufgrund von Sohldichtungserscheinungen (Kolmation) oder der Ausbildung einer ungesättigten Zone zwischen Gewässer und Grundwasseroberfläche ist die Austauschströmung behindert.

Die folgenden Bilder verdeutlichen die einzelnen Begriffe bezogen auf den Grundwasserleiter:

		
Exfiltration des Grundwassers in den Vorfluter	Infiltration des Gewässers in das Grundwasser	Infiltration mit Abrissbeschränkung

Die Richtung der Austauschströmung und die Wassermenge werden durch eine - meist lineare - Beziehung zwischen Wasserstand im Oberflächengewässer und dem Grundwasserstand ausgedrückt und als Leakage-Funktion bezeichnet. Der Leakagekoeffizient [1/s] ist der Quotient aus der In- bzw. Exfiltrationsmenge Q (bezogen auf die Gewässerbreite und die Länge eines Gewässerabschnittes) und der mittleren Potentialdifferenz. Insbesondere für die Infiltration gibt es in der Praxis einen Maximalwert, der auch bei einer Erhöhung der Potentialdifferenz nicht mehr überschritten wird. Aber auch bei der Exfiltration kann bei bestimmten Problemstellungen ein Grenzwert sinnvoll sein.

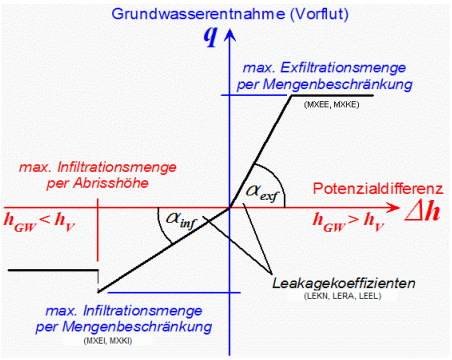


Abb. 259: Prinzipielle Darstellung der Leakage-Funktion

Eine Leakage-Beziehung kann nicht nur bei einem linienbezogenen Gewässer, sondern auch für flächenhafte Bereiche sinnvoll sein. In SPRING gibt es zur Eingabe der Leakage-Beziehung folgende Datenarten:

- VORF: knotenbezogene Höhe des Wasserstandes im Oberflächengewässer
- ABRI: Potentialdifferenz zwischen Vorflut- und Grundwasserstand, ab der keine Zunahme der Infiltrationsmenge mehr stattfindet (Abrisshöhe)
- LEKN: Leakagekoeffizient eines Knotens
- LERA: längenbezogener Leakagekoeffizient für einen Polygonzug
- LEEL: Leakagekoeffizient für Elemente
- LKFA: Verhältnis zwischen Exfiltration und Infiltration an Knoten (LEKN) bzw. Polygonen (LERA)
- LEFA: Verhältnis zwischen Exfiltration und Infiltration in Elementen (LEEL)
- MXKE: max. Exfiltrationsmenge für einen Polygonzug
- MXEE: max. Exfiltrationsmenge für Elemente
- MXKI: max. Infiltrationsmenge für einen Polygonzug
- MXEI: max. Infiltrationsmenge für Elemente

Für eine Leakage-Berücksichtigung zwingend erforderlich sind Angaben der Datenart VORF sowie eine der drei Datenarten LEKN, LERA oder LEEL (s. S. **48**).

Leakage-Beziehung bei undurchlässigen Schichten

Ein Sonderfall einer flächenhaften Leakage-Beziehung ist der Wasseraustausch durch eine stauende oder geringdurchlässige Schicht. Diese Schicht über dem Grundwasserleiter behindert zwar den Anstieg des Grundwassers (vgl. max. Mächtigkeit des Grundwasserleiters), erlaubt aber - insbesondere bei stationären Betrachtungen - doch einen bedingten Wasseraustausch.

Die Eingaben für dieses Phänomen erfolgen durch folgende Datenarten:

- UNDU: Mächtigkeit der undurchlässigen Schicht (Voraussetzung ist die Eingabe der Geländeoberfläche mit GELA)
- LEEL: Die Interpretation des Wertes ist abhängig von der Eingabe für UNDU: UNDU>0: LEEL = vertikaler K-Wert der undurchlässigen Schicht in m/s; UNDU=0 bzw. keine Eingabe: LEEL = direkter Leakagekoeffizient in 1/Zeiteinheit.
- VORF: Wasserstand des Oberflächengewässers (kann auf Geländehöhe gesetzt werden, falls keine offene Wasserfläche vorhanden ist)

In den folgenden Kapiteln wird die praktische Umsetzung einzelner Vorflutinteraktionen im Grundwassermodell anhand von typischen Beispielen erläutert.

9.5.1 Flurabstandsregulierung durch einen Polderbrunnen

In vielen vom Bergbau geprägten Gebieten steht das Grundwasser in bebauten Bereichen heute relativ oberflächennah an. Bei bestehenden Gebäuden lassen sich für die Bausubstanz schädliche Grundwasseranstiege häufig nur durch flurabstandsregulierende Maßnahmen, wie z.B. Polderbrunnen, vermeiden. Im Gegensatz zu Förderbrunnen, die der Wassergewinnung dienen, sind zwar die Standorte, aber die Entnahmemengen zur lokalen Flurabstandsregulierung häufig nicht bekannt und können somit nicht als Randbedingung (KNOT = Quellen/Senken) im Modell angesetzt werden. Bei der Flurabstandsregulierung mit Brunnen steht vielmehr das Absenkziel im Vordergrund. Im Folgenden wird der in SPRING typische Modellansatz einer solchen Situation beschrieben.

Das folgende Bild zeigt schematisch die Problemstellung:

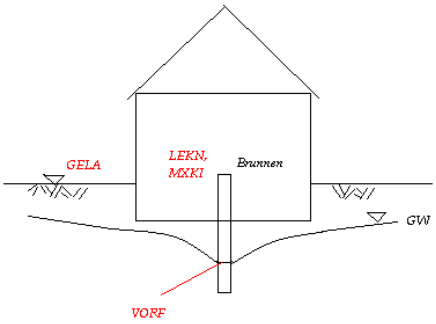


Abb. 260: Schema einer Sümpfungsmaßnahme im Gebäudekeller

- VORF

Der Netzknoten des Brunnens erhält ein Vorflutpotential, dessen Wert dem maximal zulässigen Grundwasserstand entspricht (z.B. Kellerfundament - 0.80 m). Handelt es sich um ein 3D-Modell, kann es je nach vertikaler Netzdiskretisierung notwendig sein, die Knoten im Bereich der Verfilterung des Brunnens mit einer Gruppe von GLEI-Attributen zu belegen. Das Vorflutpotential ist dann auf einen dieser Knoten zu setzen.

- LEKN

Zusätzlich ist, wie bei jedem Knoten mit Vorflutpotential, ein Leakagekoeffizient anzusetzen (hier: LEKN). Ein sehr großer Knotenleakage wirkt dabei wie ein Festpotential und stellt sicher, dass das Absenkziel im Brunnen (Vorflutpotential) erreicht wird. Liegen gemessene Entnahmemengen für den Brunnen vor, kann durch einen Vergleich der gemessenen mit der vom Programm berechneten Vorflutmenge der Leakagekoeffizient kalibriert werden. Die berechneten Vorflutmengen können z.B. in SPRING über *Attribute → Modelldaten/Berechnungsergebnisse importieren…*, (Hintergrunddatei "aaa", "Leakagemengen", gewünschte Attributkennung, z.B. KKKK) eingelesen werden. Mit dem Menüpunkt *Attribute → Knoten bearbeiten* kann die Vorflutmenge (in m³/Kn./ZE) am Brunnenknoten abgelesen werden.

- MXKI

Liegt der Grundwasserstand am Brunnen unterhalb des definierten Vorflutpotentials, gibt der Vorflutknoten, Wasser in das Grundwasser ab. Um diesen hier unerwünschten Effekt zu verhindern, muss über das Attribut MXKI = 0.0 eine Infiltration in das Grundwasser unterbunden werden (die maximale Infiltrationsmenge wird auf 0.0 begrenzt).

- MXKE

Zur Limitierung der Entnahmemenge aufgrund technischer Zwänge (Leistungsfähigkeit der Pumpe) ist die Definition einer maximalen Entnahme am Vorflutknoten mit dem Attribut MXKE zu empfehlen (Vorzeichenkonvention beachten: Für die Begrenzung der Entnahmemenge muss hier ein negativer Wert eingegeben werden).

9.5.2 Modellierung einer Dränage

Vielfach werden in Gegenden mit hohen Grundwasserständen flächendeckende Maßnahmen zur Flurabstandsregulierung benötigt. Insbesondere in bebauten Gebieten werden dazu Dränagen verlegt, die das überschüssige Wasser schadlos zum nächsten Vorfluter abführen.

Die folgenden Bilder zeigen schematisch die Problemstellung:

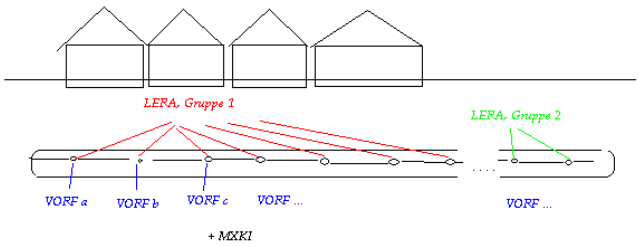


Abb. 261: Längsschnitt einer Dränage im Straßenbereich

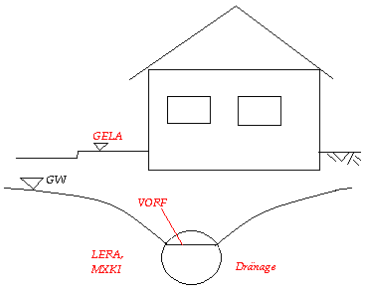


Abb. 262: Querschnitt einer Dränage im Straßenbereich

Die Umsetzung in einem mit SPRING erstellten Grundwassermodell sieht folgendermaßen aus:

- VORF

Die Netzknoten der Dränage erhalten ein Vorflutpotential, dessen Wert dem gewünschten Grundwasserstand entspricht (z.B. Kellerfundamente - 0.80 m).

- LERA

Bei einer Dränage wird im Gegensatz zum Sümpfungsbrunnen ein polygonzugbezogener Leakage (LERA, [m/ZE]) angesetzt. Hierbei sind die Zugehörigkeit und die Reihenfolge der Knoten eines bestimmten Dränagestrangs einzuhalten, da die "LERA"-Daten gruppenweise verwaltet werden. Liegen Abflussmessungen für die Dränage vor, kann durch einen Vergleich der gemessenen und der vom Programm berechneten Leakagemenge der Leakagekoeffizient kalibriert werden. Die berechneten Vorflutmengen können z.B. in SPRING über *Attribute → Modelldaten/Berechnungsergebnisse importieren…,(*Hintergrunddatei "aaa", "Leakagemengen", gewünschte Attributkennung, z.B. KKKK) eingelesen werden. Mit *Attribute → Knoten bearbeiten* kann die Leakagemenge (in m³/Kn./ZE) an den einzelnen Dränageknoten ermittelt werden. Durch eine Aufsummierung der einzelnen Knotenmengen erhält man die gesamte, vom Modell berechnete Abflussmenge in der Dränage.

- MXKI

Um zu verhindern, dass die (leere) Dränage bei einem tiefer liegenden Grundwasserstand in das Grundwasser infiltriert, wird über das Attribut MXKI die mögliche Infiltrationsmenge an den zugehörigen Knoten auf den Wert 0.0 gesetzt.

- MXKE

Zur Limitierung der Entnahmemenge aufgrund technischer Zwänge (max. Abflussvolumen der Dränage) ist die Definition einer maximalen Entnahme am Vorflutknoten mit dem Attribut MXKE zu empfehlen (Vorzeichenkonvention beachten: Für die Begrenzung der Entnahmemenge muss hier ein negativer Wert eingegeben werden). Die Einheit für eine polygonzugbezogene Beschränkung ist m³/ZE/m, d.h. für den jeweiligen Polygonzug ist eine Gesamtmenge anzugeben (Knotenreihenfolge beachten!). Der endgültige Maximalwert für den einzelnen Knoten wird im Programm durch Multiplikation mit der anteiligen Strecke zwischen dem linken und rechten Nachbarknoten gebildet.

9.5.3 Sickerlinie in einem Damm

Die Modellierung eines Damms zur Berechnung einer Sickerlinie erfordert eine sorgfältige Diskretisierung. Der Dichtungskern eines Damms weist in der Regel einen Durchlässigkeitswert auf, der um mehrere Zehnerpotenzen geringer ist als der des ihn umgebenden Dammmaterials. Dies kann zu Oszillationen in der Strömungsberechnung führen, wenn die Elementgröße nicht schrittweise angepasst wird.

Das folgende Bild zeigt die mindestens notwendigen Modelldaten für einen Damm:

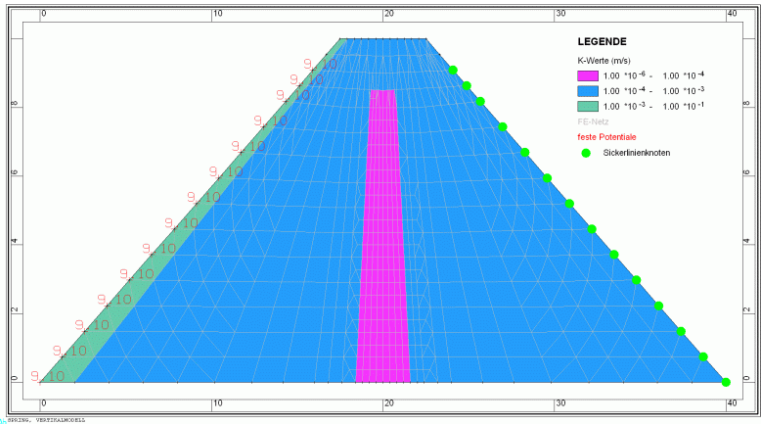


Abb. 263: Modelldaten eines Damms (Zweifache Überhöhung in Y-Richtung!)

Folgende Parameter gehen in die Strömungsberechnung ein:

- POTE: an den wasserseitigen Randknoten in m NN (Höhe des Wasserspiegels)
- KWER: grün = 0.001 m/s, blau = 0.0001 m/s, pink = 0.000001 m/s
- MAEC: horizontale Ausdehnung (beliebig)
- SICK: an den landseitigen Randknoten bis zur Höhe des Wasserspiegels (Wert = 0.0)

Nach einer stationären Strömungsberechnung (10 Iterationen) erhält man folgendes Strömungsbild:

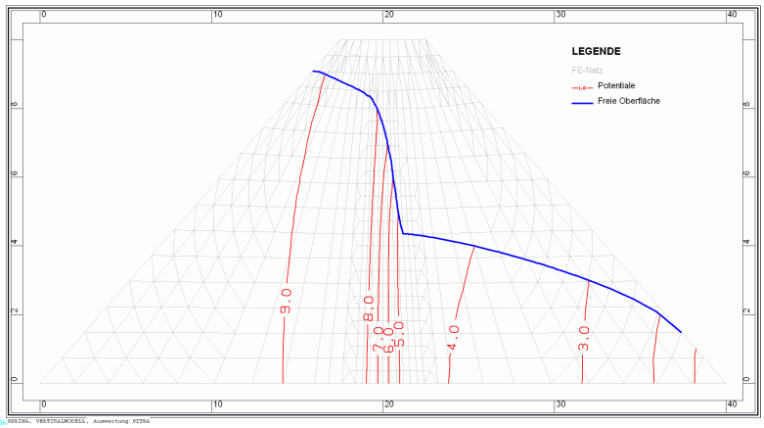


Abb. 264: Ergebnisdaten Potentiale und Sickerlinie des Damms

Die Lage der Sickerlinie (blau) entspricht der berechneten freien Oberfläche.

Ab dem Schnittpunkt der Sickerlinie mit der Landseite des Damms tritt Sickerwasser aus. Im Beispiel geschieht dies an den unteren drei Knoten über dem rechten Dammfuß. Die Sickermenge an den Knoten lässt sich in SPRING über *Attribute → Modelldaten/Berechnungsergebnisse importieren… → Sickermengen [m³/Kn./ZE]* auf eine beliebige Kennung einlesen, über *Ansicht → Attribute darstellen → Isolinien/Flächenplots/Werte* visualisieren und mit *Attribute → Knoten bearbeiten → Fangen* ablesen. Die Gesamtmenge berechnet sich pro laufenden Damm-Meter.

9.6 Flutungssimulation von Grubenbauwerken

Vereinbarungen

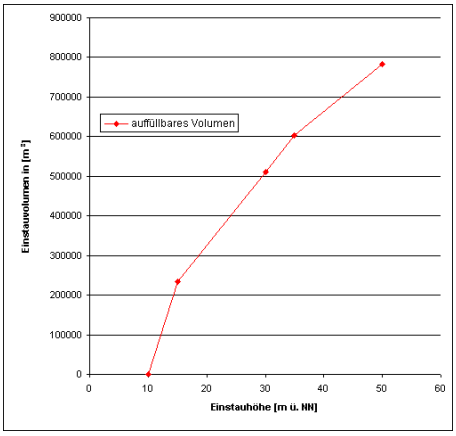
Eine Grube ist zu Beginn der Flutungssimulation ein vollständig ungesättigter, 3-dimensionaler Bereich, der vollständig oder teilweise unterhalb der Geländeoberfläche liegt. Des Weiteren gilt:

- Die zu einer Grube gehörenden Knoten sind durch eine eindeutige Zonennummer gekennzeichnet (Datenart GRUB, Nummerierung > 0).
- Für alle FE-Netz-Knoten der betrachteten Grube, an denen ein Einstrom möglich ist, muss die Randbedingung "freie Aussickerung" (Datenart SICK) definiert sein. Sind zur Wasserhaltung des Grubenbauwerks Dränagen vorhanden, die in die Grube entwässern, können die entsprechenden Knoten mit der Randbedingung "Vorflutpotential und Leakage" zusätzlich mit dem Attribut zur Zonennummerierung der Grube (Datenart GRUB, s.o.) versehen werden.
- Zum Zeitpunkt $t=t_0$ befindet sich kein Wasser in der Grube (kein Anfangsvolumen).
- Für eine instationäre Berechnung liegt für die betrachtete Grube eine stetig steigende Kurve zur Beschreibung des Verhältnisses des eingestauten Volumens (m^3/s) zur Einstauhöhe (m NN) vor.

Zeitlicher Verlauf des Einstaus einer Grube

Nach jedem Zeitschritt $t = t_i$ wird der Volumenstrom bilanziert, der vom Zeitpunkt $t = t_0$ bis zum Zeitpunkt $t = t_i$ in die Grube eingeströmt ist. Das Volumen setzt sich zusammen aus dem im betrachteten Zeitschritt $t = t_i - t_{i-1}$ eingeströmten Volumen an den Gruben-Knoten und dem bis zum Zeitpunkt $t = t_{i-1}$ eingestauten Volumen. Sind Dränagen an die Grube angeschlossen und gemäß der oben geschilderten Definition gekennzeichnet, wird die zugeströmte Menge aus der Dränage zu der Menge in der Grube hinzuaddiert.

Aus dem Volumen $V(t_i)$ wird mit Hilfe der Einstauvolumen-Einstauhöhe-Beziehung die für den betrachteten Zeitpunkt resultierende Einstauhöhe $h(V_i)$ abgeleitet.



Für jeden Knoten mit der Randbedingung "freie Aussickerung" kann nun über seine vertikale Lage z beurteilt werden, ob dieser noch oberhalb der freien Oberfläche $h(V_i)$ liegt. Für einen Knoten, der unterhalb der freien Oberfläche liegt, wird die Randbedingung von "freie Sickerrandbedingung" in "festes Potential" oder wahlweise in "Vorflut mit Leakage" mit der Höhe $h(V_i)$ geändert. Für alle weiteren Knoten mit der Randbedingung "festes Potential" bzw. "Vorflut mit Leakage" wird die Höhe auf $h(V_i)$ aktualisiert.

Dieses Vorgehen garantiert, dass die durch die Randbedingung "freie Aussickerung" aus dem Modell entnommene Menge durch Definition von Festpotentialen oder Vorflutknoten vollständig wieder zugeführt wird und die Massenerhaltung im Modell somit gegeben bleibt.

Ob die Umänderung von "Sickerknoten" in "Festpotentialknoten" oder in die gedämpfte Randbedingung "Vorflutknoten" erfolgen soll, wird während der Strömungsberechnung festgelegt.

Bei Wahl der Vorflutrandbedingung ist die Eingabe eines Knoten-Leakagewertes (Attribut LEKN) erforderlich.

Überstau einer Grube

Gilt zu einem Zeitpunkt für alle Knoten einer Grube die Randbedingung "festes Potential", gilt die Grube als überflutet. In diesem Fall werden alle (Potential-) Randbedingungen "deaktiviert", so dass die Grube wie ein vollständig gesättigter Teilbereich des Aquifers in die Strömungsberechnung einfließt.

Absenkung des Wasserstandes einer Grube

Sinkt der Wasserstand in der Grube, werden umgekehrt zum Einstauvorgang die über der freien Oberfläche liegenden Knoten von der Randbedingung "festes Potential" zurück auf die Randbedingung "freie Aussickerung" gesetzt.

Im Falle des Absenkens des Wasserstandes nach einem Überstau der Grube werden in dem Moment, in dem die Wassermenge aufgrund der Einstauvolumen-Einstauhöhe-Beziehung nicht mehr die Grube ausfüllt, alle Gruben-Knoten je nach ihrer vertikalen Lage zurück auf die Randbedingung "festes Potential" (unterhalb) bzw. "freie Aussickerung" (oberhalb der freien Oberfläche) gesetzt.

Begrenzung des Stauziels

Wird für eine Grube ein maximales Stauziel definiert, so wird ab dem Erreichen dieser Höhe dasjenige Volumen aus dem Modell entnommen, das für jeden Zeitschritt das Einhalten des Einstauzieles gewährleistet. Die Berechnung der zu sümpfenden Menge wird mit Hilfe der Einstauvolumen-Einstauhöhe-Beziehung durchgeführt. Das Stauziel muss somit innerhalb des Wertebereiches der Funktion liegen.

Eine zeitliche Veränderung des Stauzieles ist über den üblichen Weg mit Hilfe der instationären Eingabedatei möglich. Die Datenart wird mit HMAX beschrieben, die Werte sind auf die Zonennummer der jeweiligen Grube zu beziehen.

Wasserzugabe von außerhalb des Modells

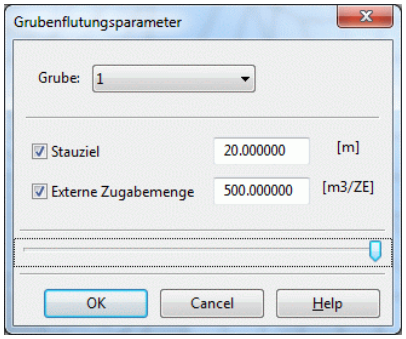
Sollen während der Flutungsphase Wässer von außerhalb des Modells in die Grube eingeleitet werden, so können diese als Volumenstrom definiert werden. Wurde für einen Zeitschritt eine solche Menge definiert, wird diese bei der Berechnung der Einstauhöhe mit Hilfe der Einstauvolumen-Einstauhöhe-Beziehung eingerechnet. Dabei gilt eine mathematisch positive Menge als Zugabemenge in die Grube, eine negative als Entnahme von Flutungswasser.

Eine zeitliche Veränderung der Zugabemengen ist über den üblichen Weg mit Hilfe der instationären Eingabedatei möglich. Die Datenart wird mit MENG beschrieben, Werte sind auf die Zonennummer der jeweiligen Grube zu beziehen.

Definition der Flutungsparameter in SPRING

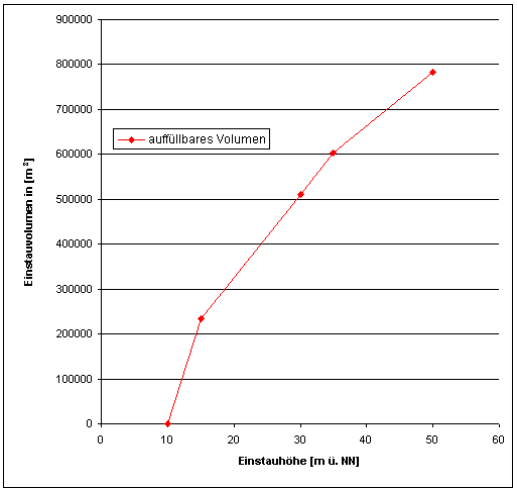
Für die Durchführung einer Flutungssimulation nach dem oben beschriebenen Verfahren ist zunächst allen FE-Netz-Knoten, die eine Grube beschreiben, eine eindeutige Nummer auf die Datenart GRUB zuzuweisen. Diese Nummer wird im weiteren Vorgehen als Zonennummer (X) der Grube verwendet.

Wurden Knoten als Grube gekennzeichnet, können über den Menüpunkt *Attribute → Extras → Flutungsparameter* die erweiterten Flutungsparameter "Stauziel" und "Zugabemenge" definiert werden. Soll ein gesetzter Parameter gelöscht werden, ist der Eintrag im entsprechenden Feld zu löschen (Feld bleibt leer).



Definition der Einstauvolumen-Einstauhöhe-Beziehung für eine instationäre Berechnung

Bei einer instationären Berechnung muss für jede Grube eine stetige Funktion definiert werden, die die Abhängigkeit zwischen eingestautem Volumen und dem Wasserstand in der Grube beschreibt. Dies ist die Einstauvolumen-Einstauhöhe-Beziehung einer Grube:



Die Funktion sollte über das gesamte Intervall des Einstauvorgangs, d.h. für alle in der Simulation auftretenden Werte für Volumen und Höhe, definiert sein.

Für die Flutungsberechnung ist die Einstauvolumen-Einstauhöhe-Beziehung für jede Grube im Format CSV (Trennzeichen getrennt) in einer Datei mit der Bezeichnung "grubeX.hv" im Arbeitsverzeichnis bereitzustellen, wobei X die Zonennummer darstellt. Die Datei wird vom Berechnungsmodul automatisch gelesen. Die erste Spalte enthält die Einstauhöhe, die zweite Spalte enthält das Einstauvolumen:

```
10.0,0.0
15.0,234900.0
30.0,511600.0
35.0,602800.0
50.0,783000.0
```

Ergebnisse

Neben den bekannten Ergebnissen (Potentiale, Freie Oberfläche, Ganglinien, usw.) aus der instationären Strömungsberechnung wird bei der Flutungssimulation für jede Grube eine Volumenganglinie erzeugt, die für jeden Zeitschritt das aktuelle Einstauvolumen beschreibt und bei Definition des Stauziels eine Volumenganglinie, die die zu sümpfende Menge beschreibt. Darüber hinaus werden die Mengen für die einzelnen Randbedingungsarten für jeden Zeitschritt gespeichert. Die Datei wird mit der Bezeichnung "gruben.csv" im Arbeitsverzeichnis erzeugt.

9.6.1 Beispiel einer Realisierung in SPRING

SPRING bietet die Möglichkeit, Flutungsprozesse in Gruben oder Talsperren zu simulieren. Die folgenden Kapitel beschreiben in Form eines Tutorials, wie die Flutungsprozesse einer Grube in SPRING umgesetzt werden.

Die zugehörigen Dateien des Beispielmodells und der Simulationen stehen auf unserer Homepage zum Download bereit unter "Tutorial (DE)" ( ). Die Datei "Tutorial_bsp_files.zip" beinhaltet ein Verzeichnis "HowTo_Grube", in welchem sich die Zip-Dateien "fl0.zip", "fl1.zip" und "fl2.zip" befinden.

Das Beispielmodell besteht aus drei geologischen Schichten, die durch zwei Grundwasserleiter und einen Grundwasserstauer gekennzeichnet sind. Die Grube befindet sich im zweiten Grundwasserleiter. Das Modell ist durch neun Knotenschichten diskretisiert und in den folgenden Abbildungen dargestellt:

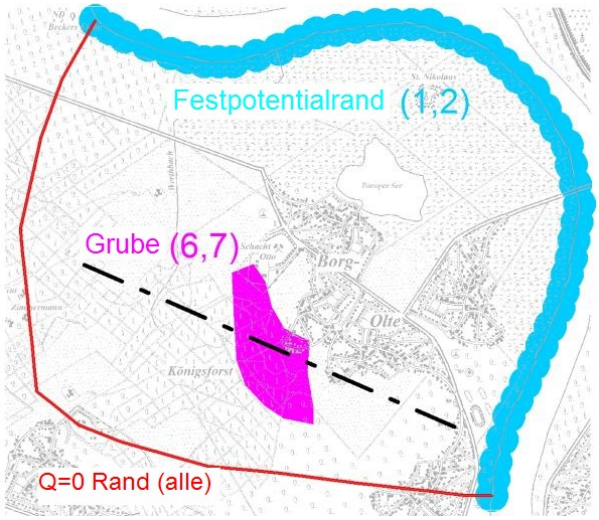


Abb. 265: Draufsicht des Modells mit den Randbedingungen der einzelnen Schichten

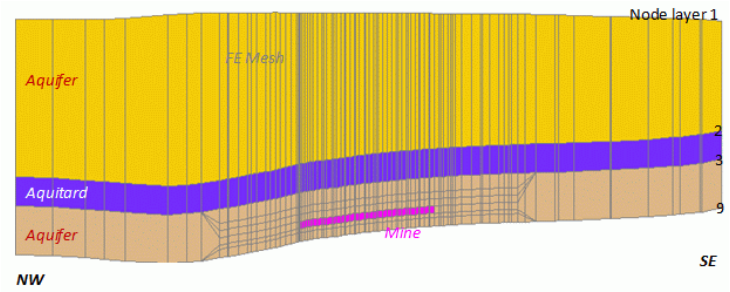


Abb. 266: Vertikalschnitt des Modells (20-fache Überhöhung)

9.6.1.1 Anfangsbedingungen

Da es sich bei der Grubenflutung um einen instationären Prozess handelt, müssen zunächst die Anfangsbedingungen festgelegt werden. Den Modellknoten, welche die Grube definieren, muss eine Sickerrandbedingung zugewiesen werden. Das Beispielarchiv "fl0.zip" enthält hierzu eine Strukturdatei mit der entsprechenden Struktur (Attribut SICK), die der Knotenschicht 6 und 7 zugewiesen wird.

Nach Speichern der Modelldatei wird die Modellprüfung mit *Berechnung → Modellprüfung* gestartet und anschließend eine stationäre Strömungsberechnung mit *Berechnung → Stationäre Strömung* durchgeführt.

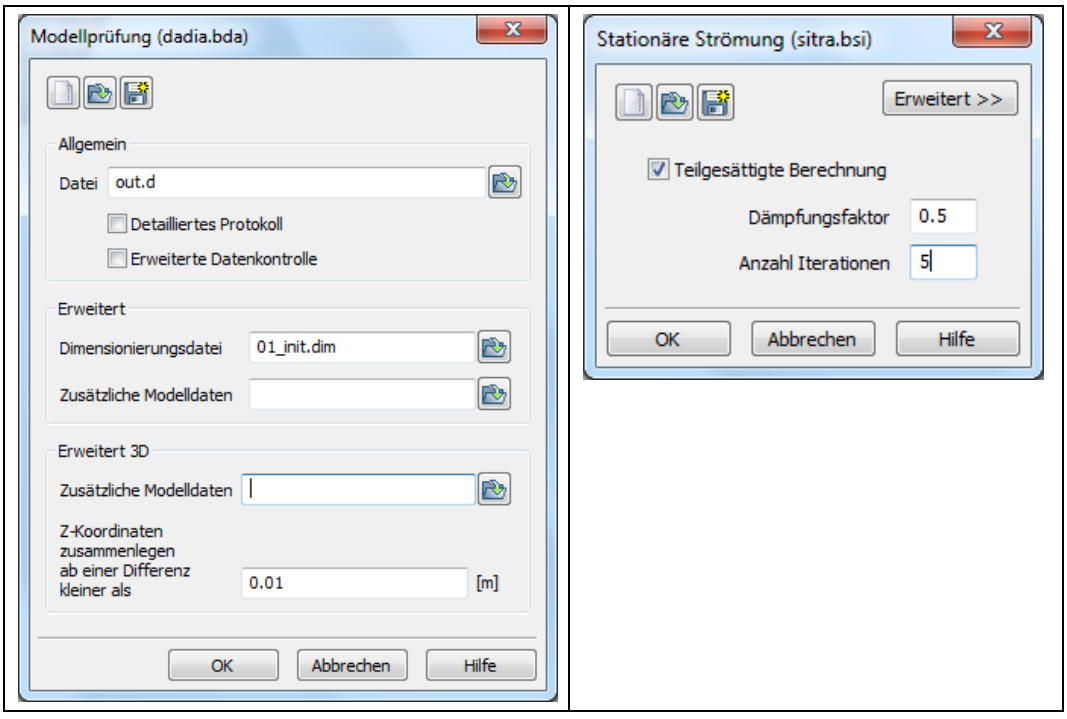


Abb. 267: Modellprüfung (Schritt 1) und stationäre Strömungsparameter (Schritt 2)

Die Berechnungsergebnisse sind in der folgenden Abbildung dargestellt. Dieser Vertikalschnitt kann mithilfe der Plot-Batchdatei “cs.bpl” erstellt werden (Archiv “fl0.zip”).

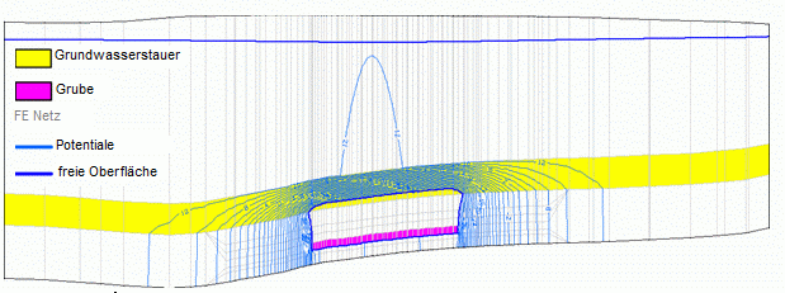


Abb. 268: Vertikalschnitt mit den Ergebnissen der stationären Strömungsberechnung

9.6.1.2 Simulation 1: Natürliche Flutung

(Archiv fl1.zip)

Natürliche Flutung bedeutet, dass die Dränagen der Grube abgestellt werden und sich die Grube aufgrund des natürlichen Grundwasserzustroms bis zum Erreichen des vorhandenen Grundwasserspiegels mit Wasser füllt.

Für die Simulation ist es erforderlich, die Modellknoten der Grube zu definieren und die Beziehung zwischen dem Grubenwasserstand und dem Wasservolumen innerhalb der Grube zu beschreiben ("h-V-Beziehung").

Die Definition der Grubenknoten erfolgt mit dem Attribut GRUB. Diese Randbedingung wird mittels der vorhandenen Struktur den Knotenschichten 6 und 7 zugewiesen.

Das Attribut GRUB enthält die Zonennummer der Grube, im Beispiel ist dies die Nummer "1". Die zugehörige h-V-Beziehung wird in einer ASCII-Datei definiert, deren Name "grube1.hv" lautet. (Der Dateiname setzt sich aus dem Wort "grube", der Zonennummer (hier: "1") und der Endung .hv zusammen, enthalten im Beispielarchiv "fl1.zip".) Die folgende Abbildung zeigt die h-V-Beziehung des Beispiels. Zum besseren Verständnis der späteren Simulationsschritte ist der Gradient des Kurvenverlaufs ebenfalls dargestellt.

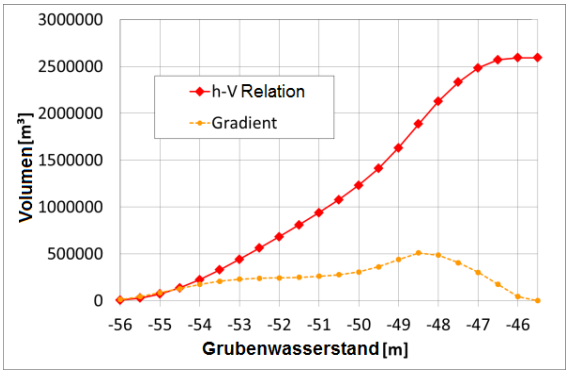


Abb. 269: Beziehung zwischen dem Wasserstand und dem Wasservolumen in der Grube

Für instationäre Strömungsberechnungen in SPRING wird eine instationäre Eingabedatei benötigt, welche die entsprechenden instationären Randbedingungen enthält.

Da die instationären Randbedingungen in dem vorliegenden Beispiel nicht geändert werden, besteht die instationäre Eingabedatei lediglich aus folgenden Zeilen(siehe Datei "trans.txt" in "fl1.zip").

Instationäre Eingabedatei (Simulation 1):

```
# SPRING Tutorial
# Grubenflutung
# Simulation 1

ZEITEINHEIT MENG JAHR
BEZUGSDATUM 01.01.2012

DATUM
02.01.2012
```

Vor dem Start der instationären Berechnung müssen allen Knoten Startpotentiale (Attribut EICH) zugewiesen werden. Hierfür werden die in der stationären Berechnung (aus Verzeichnis fl0) ermittelten Potentiale auf die Kennung EICH eingelesen mit *Attribute → Modelldaten/Berechnungsergebnisse importieren...:*

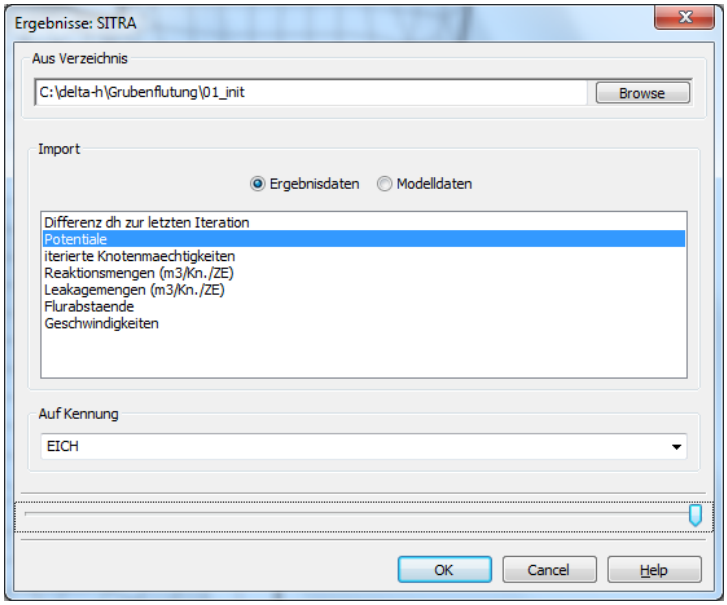


Abb. 270: Definition der Startpotentiale

Nach Speichern der Modelldatei und Durchführen der Modellprüfung (*Berechnung → Modellprüfung...*) wird nun die instationäre Berechnung gestartet mit *Berechnung → instationäre Strömung...*:

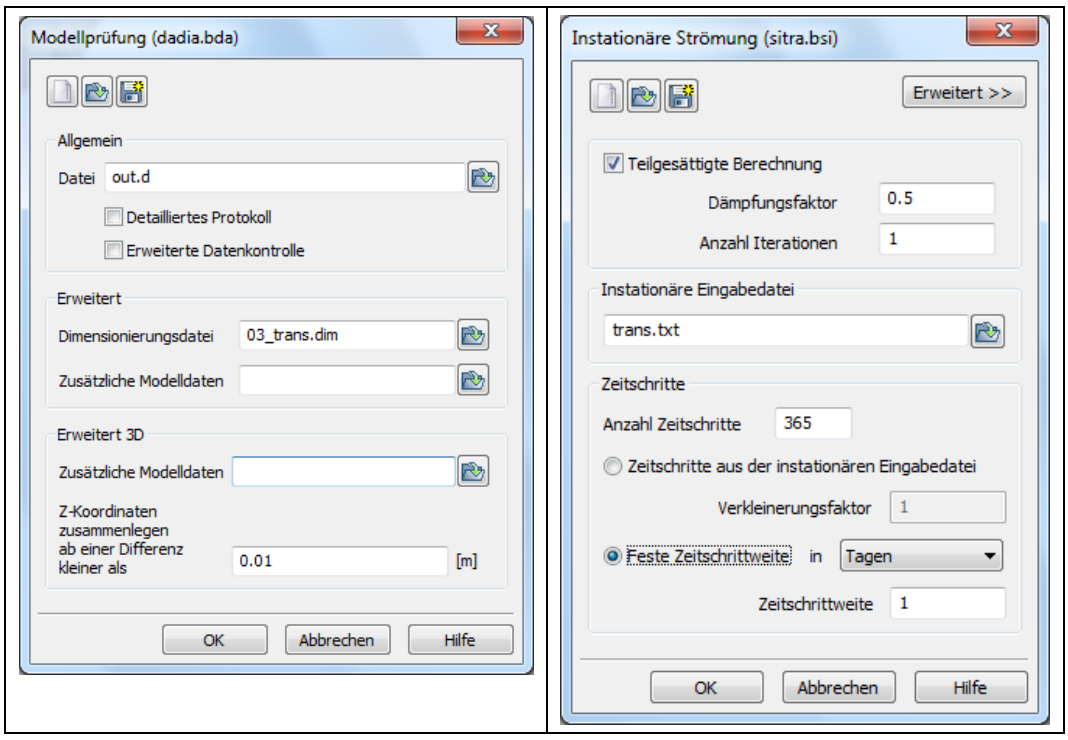


Abb. 271: Modellprüfung (Schritt 1) und instationäre Strömungsparameter (Schritt 2)

Bei den erweiterten Strömungsparametern muss die Anfangsbedingung auf die Initialisierung der Startpotentiale mit "EICH" gesetzt werden.

Der Vertikalschnitt zeigt die Ergebnispotentiale und kann mittels der Plot-Batchdatei "cs.bpl" erstellt werden. Die horizontale Abbildung stellt die Potentiale im 56. Zeitschritt in der Schicht 7 dar und kann mit Hilfe der Plot-Batchdatei "pot56-7.bpl" erstellt werden. Im Horizontalschnitt sind zusätzlich Ganglinien von bestimmten Knoten der Grubensohle dargestellt. Der Knick in den Kurven kennzeichnet das Ende des Flutungsprozesses, wenn die Grube komplett mit Wasser gefüllt ist. Danach steigen die Potentiale bis zum Erreichen der stationären Bedingungen an.

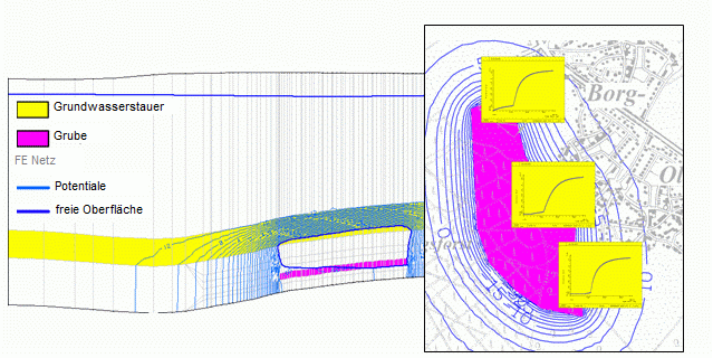


Abb. 272: Vertikal- (links) und Horizontalschnitt durch Schicht 7 (rechts) mit Ergebnissen nach 56 Tagen Flutung (Flutung 1)

Bei der Simulation einer Grubenflutung wird neben den üblichen Ergebnisdateien zusätzlich eine Datei namens “gruben.csv” erzeugt. Diese Datei enthält eine Tabelle mit sämtlichen Ergebnissen der Grubenflutung für jeden Zeitschritt und ermöglicht somit die grafische Auswertung derselben. Im vorliegenden Beispiel wurde die Auswertung mit MS Excel (Datei “gruben1.xls” in “fl1.zip”) durchgeführt und in den folgenden Abbildungen dargestellt.

Die erste Abbildung zeigt den resultierenden Grubenwasserspiegel und die Anteile der einzelnen Randbedingungen an der Massenbilanz. In Abhängigkeit ihrer aktuellen vertikalen Position werden die Grubenknoten in jedem Zeitschritt entweder auf die Randbedingung "Versickerung" oder "Festpotential" gesetzt:

- “Versickerung”: Die vertikale Position des Knotens (z-Koordinate) liegt über dem aktuellen Grubenwasserspiegel (ungesättigt).
- “Festpotential”: Die vertikale Position des Knotens (z-Koordinate) liegt unter des aktuellen Grubenwasserspiegels (gesättigt).

Beide Randbedingungen verursachen einen Massenfluss, der zu einem Austausch zwischen dem Grundwasserleiter und der Grube führt. Im aktuellen Beispiel entspricht die Summe des Massenflusses der beiden Randbedingungen dem Grundwasserzufluss (siehe Grafik).

Der Knick in den Massenfluss-Kurven wird durch die Veränderung des Gradienten in der h-V-Beziehung verursacht. Nach 124 Tagen ist die Grube gefüllt.

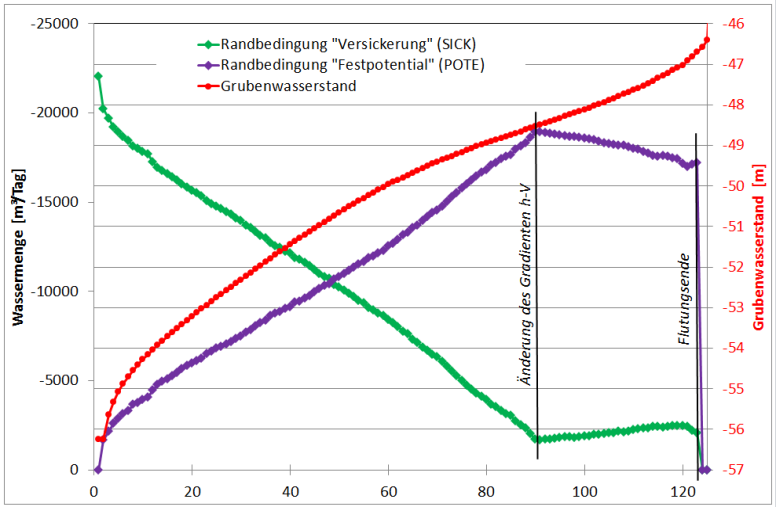


Abb. 273: Wasserstand und Wassermenge bis zum Ende der Flutung (Flutung 1)

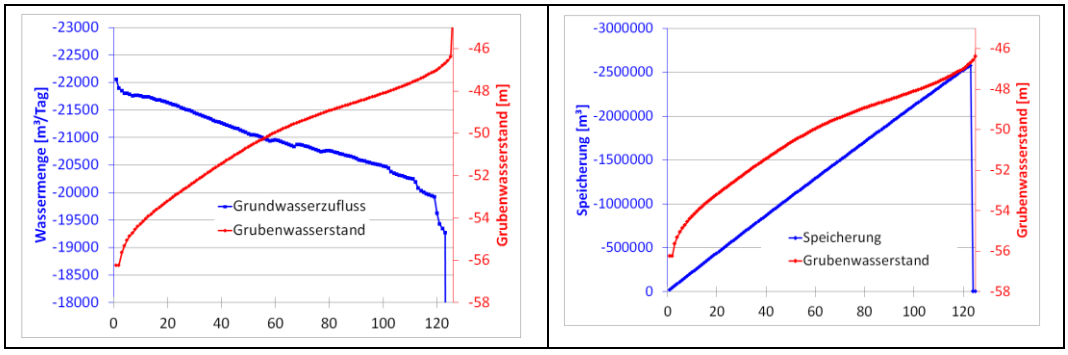


Abb. 274: Grundwasserzufluss (links) und Speicherung (rechts) bis zum Ende der Flutung (Flutung 1)

9.6.1.3 Simulation 2: Kontrollierte Flutung

(Archiv fl2.zip)

Das zweite Beispiel zeigt die Anwendung einer grubenspezifischen instationären Randbedingung.

Dazu werden für jede Grube ein Stauziel (HMAX) und eine externe Wasserzugabemenge (MENG) definiert. Beide Parameter können in der instationären Eingabedatei geändert werden. Wird zur Beschleunigung der Flutung von außen Wasser zugeführt, muss der Wert der externen Zugabemenge positiv angegeben werden. Bei einem negativen Wert wird Wasser aus der Grube entnommen.

Die Parameter werden im Dialog *Attribute → Extras → Flutungsparameter* festgelegt.

Soll ein Parameter während einer Simulation geändert werden, muss dieser zunächst hier initialisiert werden.

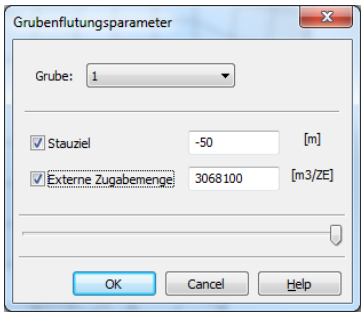


Abb. 275: SPRING Dialog zur Bearbeitung der Flutungsparameter

Um die Wirkung dieser Parameter zu verdeutlichen, werden die folgenden instationären Randbedingungen festgelegt:

Tabelle 1: Instationäre Randbedingungen (Flutung 2)

Datum	Zeitschritt	Randbedingung	Beschreibung
01.01.2012	0	HMAX = -50 m MENG = 3068100 m³/a	Beginn der Flutung bis zum Grubenwasserspiegel auf -50 m mit einer Wasserzufuhr von ca. 8400 m³/Tag,
01.03.2012	60	MENG = -13149000 m³/a	Leerpumpen der Grube mit einer Pumpleistung von 1500 m³/h = 3600m³/Tag
01.07.2012	182	HMAX = --46.5 m MENG = 5259600 m³/a	Weitere Flutung bis zum Grubenwasserstand von -46.5 m mit einer Zufuhr von ca. 14400 m³/Tag
01.09.2012	244	MENG = 0 m³/a	Flutung ohne weitere Zugabe
31.12.2012	365		Ende der Simulation

Die Datei mit den instationären Randbedingungen findet sich im Archiv “fl2.zip” und hat folgenden Aufbau (Flutung 2):

```
# SPRING Tutorial
# Flutung
# Simulation 2

ZEITEINHEIT MENG JAHR
BEZUGSDATUM 01.01.2012

DATUM
01.03.2012
```

```
MENG #Leerung der Grube mit einer Pumprate von 1500 m3/h
     1-13149000.

DATUM
01.07.2012

HMAX #erneutes Fluten der Grube bis Stauziel -46.5m
     1    -46.5

MENG # Wasserzufuhr ca. 600 m3/h
     1  5259600.

DATUM
01.09.2012

MENG #Fortsetzen der Flutung ohne Wasserzugabe
     1     0.5
```

Die Ergebnisse dieser Simulation sind in den folgenden Abbildungen dargestellt. Sie basieren auf den Dateien “gruben.csv” bzw. “gruben2.xls” (“fl2.zip”).

Die Randbedingung der externen Wasserzufuhr wird durch die Kurve "Potential der ext. Wasserzufuhr" abgebildet (entspricht der Definition des Attributes MENG). Die Kurve "aktuelle Wasserzufuhr" stellt das Wasservolumen dar, welches in Abhängigkeit der physikalischen Gegebenheiten der Grube hinein- oder hinaus gepumpt wird. Insbesondere unterscheiden sich die aktuelle und mögliche Wasserzufuhr zwischen dem Erreichen des Abpump-Endes der Grube und dem Fortsetzen der Flutung.

Dies liegt an der fest gelegten Wasserzufuhr (MENG = 36000 m³/a), die nach Entleerung der Grube nicht mehr verfügbar ist.

Daher ist die aktuelle Pumprate nach Entleerung der Grube geringer (etwa 22.000 m³/Tag).

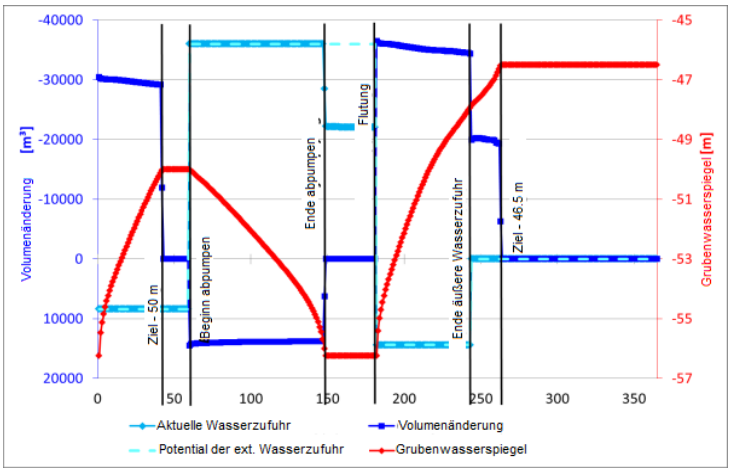


Abb. 276: Grubenwasserstand, Volumenänderung und externe Wasserzufuhr (Flutung 2)

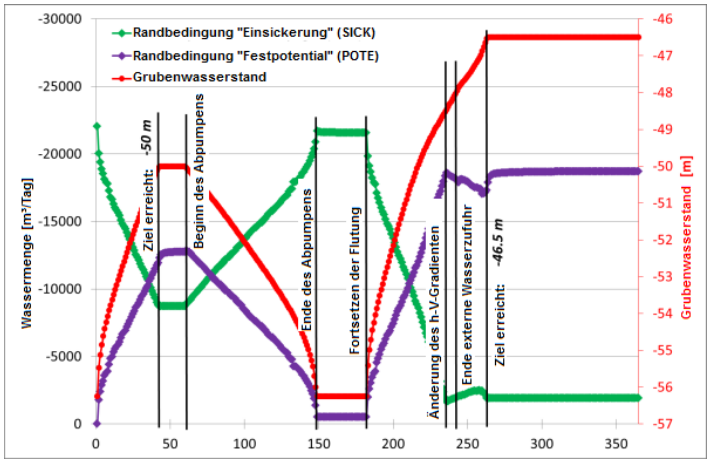


Abb. 277: Randbedingungsabhängige Massenflüsse (Flutung 2)

10 Anhang

Hier finden sich Erläuterungen zu den Ergebnisdateien, Hintergrunddateien, den internen Datenkennungen sowie Informationen zu der Datei xsusi.kenn.

10.1 Aufbau und Inhalt der Ergebnisdateien

DiffEich.txt

Die Datei *DiffEich.txt* wird bei der Ploterstellung nach einer Strömungsberechnung ausgegeben, wenn der entsprechende Menüpunkt (*Herkunft - Messdaten*) im Ploterstellungsdialog gewählt wird. Die Datei enthält folgende Angaben:

x-Koordinate, y-Koordinate, Differenz (gerechnet - gemessen), Messwert, berechneter GW-Stand

C<Knoten/Element-Nr.>.txt

Die Datei *C<Knoten/Element-Nr.>.txt* wird bei der Ploterstellung nach einer instationären Strömungsberechnung ausgegeben, wenn der entsprechende Menüpunkt (*Darstellungsart: Ganglinie - Plot mit Messwerten*) im Dialog der Ploterstellung gewählt wird. Die Datei enthält folgende Angaben:

berechneter GW-Stand, Messwert, Zeitschritt, GWM-Name (aus sollpot-Datei)

Nähere Erläuterungen zu diesen beiden Dateien finden sich im Kapitel "SPRING-Menüs" unter "Plot - Messdaten" (S. 93).

reaktion.csv

Die Datei *reaktion.csv* wird bei einer Strömungsberechnung erstellt, sobald das Attribut BILK mindestens einem Knoten mit Attribut POTE in der Modelldatei (*.net oder *.3d) zugewiesen wurde.

In der ersten Zeile der Datei stehen die Werte des Attributs BILK in absteigender Reihenfolge. Zuerst werden die Bilanzbereiche der ersten Schicht (wenn in der *.net-Datei vorhanden) in absteigender Reihenfolge gelistet. Danach folgen die Bilanzbereiche der unteren Schichten (aus der *.3d-Datei) in absteigender Reihenfolge.

Die zweite Zeile enthält im stationären Fall:

Die laufende Nr. des Zeitschritts (stationär = 1.0), Zeitpunkt (stationär =0.0), jeweilige Summe der Reaktionsmengen der in der ersten Zeile zugeordneten Bilanzbereiche.

Im instationären Fall enthalten die zweite und die darauf folgenden Zeilen:

Die laufende Nummer des Zeitschritts, Zeitpunkt aus der instationären Eingabedatei, jeweilige Summe der Reaktionsmengen der in der ersten Zeile zugeordneten Bilanzbereiche.

leakageBILK.csv

Die Datei *leakageBILK.csv* wird bei einer Strömungsberechnung erstellt, sobald das Attribut BILK mindestens einem Knoten mit Attribut LEKN oder LERA in der Modelldatei (*.net oder *.3d) zugewiesen wurde.

In der ersten Zeile der Datei stehen die Werte des Attributs BILK in absteigender Reihenfolge. Zuerst werden die Bilanzbereiche der ersten Schicht (wenn in der *.net-Datei vorhanden) in absteigender Reihenfolge gelistet. Danach folgen die Bilanzbereiche der unteren Schichten (aus der *.3d-Datei) in absteigender Reihenfolge.

Die zweite Zeile enthält im stationären Fall:

Die laufende Nr. des Zeitschritts (stationär = 1.0), Zeitpunkt (stationär =0.0), jeweilige Summe der Leakagemengen der in der ersten Zeile zugeordneten Bilanzbereiche.

Im instationären Fall enthalten die zweite und die darauf folgenden Zeilen:

Die laufende Nummer des Zeitschritts, Zeitpunkt aus der instationären Eingabedatei, jeweilige Summe der Leakagemengen der in der ersten Zeile zugeordneten Bilanzbereiche.

leakageBILE.csv

Die Datei *leakageBILE.csv* wird bei einer Strömungsberechnung erstellt, sobald das Attribut BILE mindestens einem Element mit Attribut LEEL in der Modelldatei (*.net oder *.3d) zugewiesen wurde.

Der weitere Aufbau entspricht exakt dem der Datei *leakageBILK.csv*.

gruben.csv

Die Datei *gruben.csv* wird bei einer Flutungssimulation erzeugt.

Für jede Grube (Attribut GRUB) wird eine Volumenganglinie erzeugt, die für jeden Zeitschritt das aktuelle Einstauvolumen beschreibt und, wenn ein Stauziel definiert ist (Attribute HMAX und MENG), die zu sümpfende Menge beschreibt. Darüber hinaus werden die Mengen für die einzelnen Randbedingungsarten für jeden Zeitschritt gespeichert.

In der ersten Zeile der Datei stehen die Bezeichnungen der einzelnen Spalten, sortiert nach Grube 1, Grube 2, usw.

Die folgenden Zeilen enthalten die Daten:

Zeitschritt, aktuelles Einstauvolumen, Sümpfungsmenge (wenn definiert), Menge der Randbedingung Versickerung (Knoten ist ungesättigt), Menge der Randbedingung Festpotential (Knoten ist gesättigt), Menge der Randbedingung Vorflut mit Leakage (Knoten ist gesättigt).

fracht.csv (Stofftransport)

fracht.csv (Wärmetransport)

Die Erläuterungen dieser Dateien folgen demnächst.

10.2 Hintergrunddateien

Über die Hintergrunddateien findet die Kommunikation zwischen den SPRING-Modulen der Berechnung, des Datenexports und der Ploterstellung statt. Die Hintergrunddateien werden von den Modulen automatisch erzeugt. Sie sind Binärdateien und vom Benutzer nicht direkt veränderbar. Der Zugriff der Module auf diese Hintergrunddateien erfolgt über eine einheitliche Schnittstelle (SPRING-DTNLIB).

Die Hintergrunddateien sind Dateien mit dem Namen aaa, bbb, ccc, ddd usw. Die Steuerdatei aaa (binär) wird nicht von der DTNLIB verwaltet.

Um einen schnellen Zugriff auf eine Liste der vorhandenen Daten zu bekommen, sind die Dateien immer mindestens paarweise zusammengehörig:

Zu der oder den eigentlichen Datendateien, in denen die Datenfelder der einzelnen Daten gespeichert sind, gehört immer eine Indexdatei, in der eine Liste der jeweiligen Daten mit zusätzlichen Informationen (Kennung, Klasse, Anzahl, Min-/Max-Werte, Zeitpunkt u.ä.) gespeichert ist.

Zurzeit werden folgende Dateien von der DTNLIB verwendet:

- Modelldaten:
  bbb (Index)
  ccc (Daten)

- stationäre Ergebnisdaten und Interpolationsergebnisse:
  ddd (Index)
  eee (Daten)

- instationäre Ergebnisdaten:
  fff (Index)
  ggg (Daten 1: letzter Zeitschritt)
  hhh (Daten 2: über die Zeit)
  iii (Daten 3: über die Zeit)
  jjj (Daten 4: über die Zeit)
  kkk (Daten 5: bei inst. Bergsenkungen)

- Ergebnisdaten von Berechnungen des Datenexports:
  lll (Index)
  mmm (Daten)

- Daten der inversen Modellierung:
  nnn (Index)
  ooo (Daten)

10.3 Interne Datenkennungen

Die Daten in den Hintergrunddateien werden über sogenannte Kennungsnummern angesprochen. Aus der Kennungsnummer ist über die SPRING-Schnittstelle DTNLIB allen Programmen bekannt, wie die entsprechenden Daten abgespeichert und gelesen werden, wie sie dargestellt werden können und welche Bedeutung sie haben.

Für den Benutzer wird die interne Datenverwaltung über Kennungsnummern nur in den Batchdateien für die Ploterstellung und den Datenexport sichtbar. Darzustellende bzw. zu exportierende Daten werden hier über diese Kennungsnummern definiert.

Für eventuelle manuelle Eingriffe in die Batchdateien sind nachfolgend die Kennungen in den Tabellen zusammengestellt.

Die Spalten der folgenden Tabellen haben folgende Bedeutung:

- Spalte 1: Kennungsnummer (< 1000)
- Spalte 2: Parameter für die Einteilung in Knoten- und Elementdaten, Polygonzugdaten, Gruppendaten, Kluftdaten mit folgender Bedeutung:
  k = Knotendaten für alle Knoten
  K = Daten für die Knoten der obersten Schicht (bei 3D-Modell)
  e = Elementdaten für alle Elemente
  E = Elementdaten für die Elemente der obersten Schicht (bei 3D-Modell)
  r = Polygonzug- bzw. Gruppendaten für alle Knoten/Elemente
  R = Daten für die Knoten/Elemente der obersten Schicht (bei 3D-Modell)
  1 = 1D-Kluftdaten
  2 = 2D-Kluftdaten
  x = Knoten- oder Elementdaten, z.B. Markierungen
  ohne Angabe = Daten ohne speziellen Bezug, z.B. Indexfelder
- Spalte 3: Beschreibung

Modelldaten nach einer Modellprüfung

Kennungsnummer	Parameter	Beschreibung
2D-Netzdaten:		
1	k	Netzrand
2	k	Knotennummern
3	e	Elementnummern
4	k	x-,y-Koordinaten
3D-Netzdaten:		
11	k	3D-Rand
13	k	Z-Koordinaten
Kluftbeschreibungen:		
22	1	1D-Kluftnummern
23	1	1D-Kluftöffnungsweiten
24	1	1D-Kluftmächtigkeiten
26	2	2D-Kluftnummern
27	2	2D-Kluftöffnungsweiten
Plotdaten:		
32	x	Markierungen
33	k	Texte an Knoten

34	e	Texte an Elementen
Interne Daten:		
45	k	Schichtnummer für Knoten
46	e	Darunter liegende Elementnummern
47	e	Schichtnummern für Elemente
Auswertungsdaten:		
51	R	Kontrolllinien
52	k	PRAN-Knoten
53	r	Bilanzknoten
54	E	Bilanzelemente
55	r	Bilanzknotengruppen mit Nummer
56	e	Bilanzelementgruppen mit Nummer
Bodenparameter:		
61	e	K-Werte (m/ZE)
62	e	vertikale K-Werte (m/ZE)
63	e	Speicherkoeffizienten
64	k	Porositäten
65	e	Dispersivitäten
67	k	Speicherkoeffizienten
68	1	1D-Kluftdispersivitäten
69	2	2D-Kluftdispersivitäten
70	k	Kd-Wert-Zonierung (XTRA)
Daten zur Modellkalibrierung:		
71	e	min. K-Werte (m/ZE)
72	e	max. K-Werte (m/ZE)
73	k	Eichpotentiale
75	e	K-Wert-Zonen
76	k	Speicherkoeffizient-Zonen
77	r	Knotenleakage-Zonen
78	e	Van-Genuchten-Zonen
79	e	Van-Genuchten-Parameter
80	e	Anfangssättigung
Geologie:		
81	E	Startmächtigkeiten
82	E	Unterfläche
83	E	Oberfläche
84	K	Mächtigkeit der undurchlässigen Schicht
85	K	Geländeoberflächen
86	K	Bergsenkungen
87	E	Max. Mächtigkeiten
Rand- und Nebenbedingungen für Potentialgleichung:		
91	k	Randpotentiale

92	r	Gleiche Potentiale
93	k	Leakagekoeffizienten (m²/Kn./ZE)
94	e	Leakagekoeffizienten (m²/m²/ZE),(ms)
95	r	Leakagekoeffizienten (m/ZE)
96	k	Vorflutpotentiale
97	r	Max. Exfiltrationsmengen (m³/m/ZE)
98	r	Max. Infiltrationsmengen (m³/m/ZE)
99	e	Max. Exfiltrationsmengen (m³/m²/ZE)
100	e	Max. Infiltrationsmengen (m³/m²/ZE)
101	r	Sickerlinienknoten
102	k	Leakagekoeffizienten (m²/Kn./ZE)
103	k	Max. Exfiltrationsmengen (m³/Kn./ZE)
104	k	Max. Infiltrationsmengen (m³/Kn./ZE)
105	e	Leakagekoeffizienten (m²/El./ZE)
106	e	Max. Exfiltrationsmengen (m³/El./ZE)
107	e	Max. Infiltrationsmengen (m³/El./ZE)
108	k	Abrisshöhe
109	k	Verhältnis Leakagekoeffizient EXF/INF
110	e	Verhältnis Leakagekoeffizient EXF/INF
Quelldaten:		
111	E	Neubildung (m³/El./ZE)
112	k	Quellen/Senken (m³/Kn./ZE)
113	r	Randein- /-ausflüsse (m³/ZE)
Rand- und Anfangsbedingungen für Transportgleichung:		
120	k	Massenzufluss (pro s)
121	k	feste Konzentrationen
122	k	Quell-Konzentrationen
123	k	Anfangskonzentrationen
124	k	feste Konzentrationen (XTRA)
125	k	Quell-Konzentrationen (XTRA)
126	k	Anfangskonzentrationen (XTRA)
127	k	Massenzufluss (pro s) (XTRA)
Allgemeine Daten:		
131	k	allg. Knotendaten
132	e	allg. Elementdaten
155	k	Gruben-Knoten
156	k	Gruben-Stauziel
157	k	Gruben-Zugabemenge

Stationäre Ergebnisdaten, Interpolationsergebnisse nach einer Kalibrierung, stationärer Strömungsberechnung oder Interpolation:

Kennungsnummer	Parameter	Beschreibung
Ergebnisse der Potentialgleichung/Konzentrationsgleichung:		
201	k	Potentiale
202	e	Mittelpunktspotentiale
203	k	Konzentrationen
204	e	Geschwindigkeiten
205	e	Geschwindigkeiten
206	k	Konzentrationen (XTRA)
208	1	Geschwindigkeiten der 1D-Klüfte
209	2	Geschwindigkeiten der 2D-Klüfte
abgeleitete Ergebnisdaten:		
210	k	Sickermengen (m³/Kn./ZE)
211	k	Reaktionsmengen (m³/Kn./ZE)
212	R	Kontrolllinienmengen (m³/ZE)
213	k	Leakagemengen (m³/Kn./ZE)
214	e	Leakagemengen (m³/El./ZE)
215	K	Flurabstände
216	k	Sättigung
218	E	Veränderte Unterflächen
219	E	iterierte Mächtigkeiten
220	K	iterierte Knotenmächtigkeiten
Bahnliniendaten:		
221		Bahnlinien (2D)
222		Bahnlinien (3D)
Pecletzahlen:		
225	e	Pecletzahlen (longitudinal)
226	e	Pecletzahlen (transversal)
spezielle Ergebnisse aus der Kalibrierung:		
231	e	iterierte K-Werte (m/ZE)
232	e	iterierte vert. K-Werte(m/ZE)
Interpolations-Ergebnisse:		
240	K	interpolierte Knotendaten
241	E	interpolierte Elementdaten

Instationäre Ergebnisdaten:

Kennungsnummer	Parameter	Beschreibung
Zeitschritte:		
300		Zeitpunkt, Zeiteinheit, Bezugsdatum
Ergebnisse der Potentialgleichung/Konzentrationsgleichung: letzter Zeitschritt:		

301	k	Potentiale
302	e	Mittelpunktspotentiale
303	k	Konzentrationen
304	e	Geschwindigkeiten (2D)
305	e	Geschwindigkeiten (3D)
306	k	Konzentrationen (XTRA)
309	2	Geschwindigkeiten der 2D-Klüfte
abgeleitete Ergebnisdaten: letzter Zeitschritt:		
310	k	Sickermengen (m³/Kn./ZE)
311	k	Reaktionsmengen (m³/Kn./ZE)
312	R	Kontrolllinienmengen (m³/ZE)
313	k	Leakagemengen (m³/Kn./ZE)
314	e	Leakagemengen (m³/El./ZE)
315	K	Flurabstände
316	k	Sättigung
Bahnliniendaten:		
321		Bahnlinien (2D)
322		Bahnlinien (3D)
Pecletzahlen/Courant-Zahlen:		
325	e	Pecletzahlen longitudinal
326	e	Pecletzahlen transversal
327	e	Courant-Zahlen
Ergebnisse der Potentialgleichung/Konzentrationsgleichung: über die Zeit:		
400	k	abgesenkte Z-Koordinaten
401	k	Potentiale
403	k	Konzentrationen
404	e	Geschwindigkeiten (2D)
405	e	Geschwindigkeiten (3D)
406	k	Konzentrationen (XTRA)
409	2	Geschwindigkeiten der 2D-Klüfte
abgeleitete Ergebnisdaten: über die Zeit:		
410	k	Sickermengen (m³/Kn./ZE)
411	k	Reaktionsmengen (m³/Kn./ZE)
412	R	Kontrolllinienmengen (m³/ZE)
413	k	Leakagemengen (m³/Kn./ZE)
414	e	Veränderte Unterflächen
Ganglinien:		
450	k	Z-Koordinaten
451	k	Potentiale
453	k	Konzentrationen
456	k	Konzentrationen (XTRA)
instationäre Eingabedaten:		

470	K	Bergsenkungen
471	k	feste Potentiale
472	k	Vorflutpotentiale
473	E	Neubildung(m³/El./ZE)
474	k	Quellen/Senken (m³/Kn./ZE)
475	k	feste Konzentrationen
476	k	Quell-Konzentrationen

Ergebnisdaten des Datenexports

Kennungsnummer	Parameter	Beschreibung
523		Stromlinien

Daten der inversen Modellierung

Kennungsnummer	Parameter	Beschreibung
aus stationärem Lauf:		
601	k	Potentiale/K-Wert (hori.)
602	k	Potentiale/K-Wert (vert.)
603	k	Potentiale/Speicherkoeffizienten
604	k	Potentiale/Knotenleakage
611	k	Menge/K-Wert (hori.)
612	k	Menge/K-Wert (vert.)
613	k	Menge/Speicherkoeffizienten
614	k	Menge/Knotenleakage
aus instationärem Lauf:		
651	k	Potentiale/K-Wert (hori.)
652	k	Potentiale/K-Wert (vert.)
653	k	Potentiale/Speicherkoeffizienten
654	k	Potentiale/Knotenleakage
661	k	Menge/K-Wert (hori.)
662	k	Menge/K-Wert (vert.)
663	k	Menge/Speicherkoeffizienten
664	k	Menge/Knotenleakage

10.4 Informationen in der Datei xsusi.kenn

Definition von Attributkennungen

Zur vollständigen Definition des Grundwasser-Modells werden den Knoten und Elementen des FE-Netzes Attribute mit einer „vierbuchstabigen“ Kennung zugewiesen. Die dahinter stehenden Datenarten sind im Kapitel "Datenstruktur des Grundwasser-Modells - Beschreibung der Datenarten" (S. **41** ff) einzeln beschrieben.

Um diese Attribute zu verwalten, muss während der Modellerstellung klar sein, ob eine Datenart knoten- oder elementbezogen ist, und ob spezielle Eigenschaften zu berücksichtigen sind (z.B. Polygonzugdaten oder Daten, die bei 3D-Modellen in den tieferen Schichten keinen Sinn machen u.ä.). Die inhaltliche Bedeutung der Datenart ist zu diesem Zeitpunkt unwichtig.

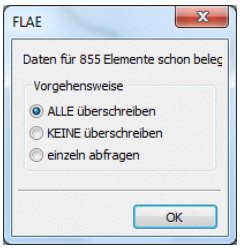
Daher wird die Initialisierung der Datenkennungen (im Gegensatz zur Modellprüfung) nicht fest im Programm vorgenommen, sondern über die Datei xsusi.kenn geregelt.

Die Datei findet sich unter:

"C:\Users\Public\Documents\SPRING\Konfig" (Windows 7 oder Windows Vista). Dieser Pfad variiert je nach Betriebssystem oder Festplattenpartitionierung (z.B. unter Windows XP: "C:\Documents and Settings\All Users\Documents\SPRING\Konfig").

Neben der generellen Klassifizierung des Bezugs zu Knoten oder Elementen gibt es die Unterscheidung zwischen:

- einfach belegten Daten: Jeder Knoten bzw. jedes Element kann nur einen Wert pro Schicht für diese Datenart erhalten (Beispiel: Ein Knoten einer Schicht kann nur ein Festpotential (Attribut POTE) haben und ein Element kann pro Schicht nur einen k-Wert (Attribut KWER) haben.). Sollte einem Knoten oder Element eine solche Datenart aus irgendeinem Grund doppelt zugewiesen werden, so erscheint ein spezielles Abfragemenü zur Entscheidung, ob der vorhandene Wert (KEINE überschreiben) oder der neu eingegebene Wert (ALLE überschreiben) gespeichert werden soll.



- Gruppendaten: Jeder Knoten bzw. jedes Element kann mehrere Werte pro Schicht für diese Datenart erhalten (Beispiel: Ein Knoten kann zu mehreren Bilanzbereichen -BILA- gehören).
- Polygonzugdaten (bei Knotendaten): Der Datenwert ist für einen Polygonzug aus Knoten definiert, d.h. die Reihenfolge der Knotennummern spielt bei der Datenart eine entscheidende Rolle (Beispiele: LERA, MXKI, MXKE, ...).
- 2D oder 3D-Daten: Es gibt Datenarten, für die es nicht sinnvoll ist, eine Zuweisung in tiefere Schichten zu erlauben. Diese sind als 2D-Daten zu initialisieren, so dass eine Zuweisung auf Schichtnummern > 1 erst gar nicht möglich ist. (Beispiele: GELA, MAEC, UNTE, UNDU, ...).

In der Datei xsusi.kenn werden die Kennungen wie folgt initialisiert:

Zunächst wird in der Datei die Zeile beginnend mit ".KENNUNGEN." gesucht. Danach werden bis zum Dateiende bzw. Auffinden einer Zeile beginnend mit ".ENDE." pro Zeile die folgenden Daten gelesen:

Spalte 1 - 4	KENN	Vierbuchstabige Kennung der Datenart
Spalte 6	k, e, 1, 2	k = Knotenbezug e = Elementbezug 1 = 1D-Klüfte 2 = 2D-Klüfte
Spalte 7	leer, g, s	leer = einfach belegte Daten g = Gruppendaten s = Polygonzugdaten (nur in Verbindung mit k)
Spalte 8	2, 3	2 = 2D-Daten

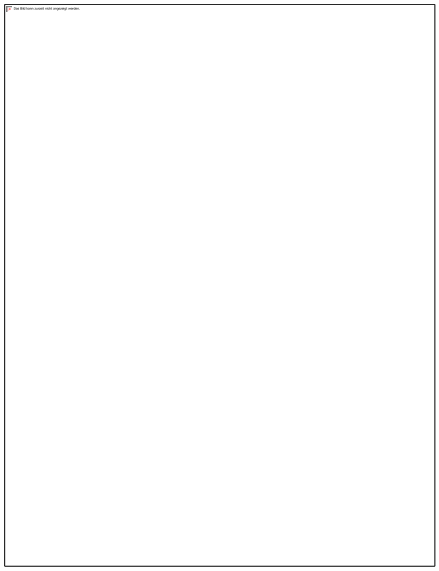
		3 = 3D-Daten
Ab Spalte 10	Beliebiger Text als Info für die Kennung	

Auszug einer xsusi.kenn als Beispiel für den Attribut-Teil:

```
.KENNUNGEN.
1KON k 3 Konzentrationen R.B. 1. Art
ABRI k 3 Abrisshöhen
AKON k 3 Anfangskonzentrationen
ASAT e 3 Anfangssättigung
BERG k 2 Bergsenkungen
FLAE e 2 Flächenversickerungen (GW-Neubildung)
GLEI ks3 Gleiche Potentiale
KNOT k 3 Knotenein-/-ausflüsse (Entnahmen negativ)
KONT ks2 Kontrolllinien
UNTE e 2 Unterkante des Grundwasserleiters
VORF k 3 Vorflutpotentiale
VERS e 2 Versiegelungsgrad für Neubildungsberechnung
1DBR 1   Öffnungsweite (1D-Kluefte)
1DMA 1   Mächtigkeit (1D-Kluefte)
2DBR 2   Öffnungsweite (2D-Kluefte)
.ENDE.
```

Unbekannte oder benutzerdefinierte Kennungen

Der Anwender kann in der Strukturdatei auch beliebige Kennungen angeben. Beim Öffnen des Projekts mit SPRING erscheint in diesem Fall das folgende Eingabefenster:



Hier kann der Anwender dann definieren, ob es sich um eine knoten- oder elementbezogene Datenart vom Datentyp "Einfach", "Gruppe" oder "Linie" handeln soll. Wenn diese neue Datenart dauerhaft Bestand haben soll, muss sie in der (benutzerspezifischen) Datei *xsusi.kenn* entsprechend eingetragen werden.

Voreinstellung der Darstellungsparameter der Attribute

Mit Hilfe der Datei xsusi.kenn lässt sich die Voreinstellung der Darstellungsparameter der Attribute (*Ansicht → Attribute darstellen → Isolinien/Flächenplots/Werte…*) modifizieren. Die Voreinstellungen zur Darstellung von Attributen sind bis auf einige Ausnahmen wie folgt definiert:

- bei einfach belegten Knotendaten (z.B. Geländehöhe oder Eichpotentiale) 10 Isolinien in äquidistantem Abstand
- bei einfach belegten Elementdaten (z.B. Flächenversickerung (FLAE) oder Durchlässigkeiten (KWER)) ein Flächenplot mit 10 Farbintervallen (äquidistant)
- bei Gruppendatenarten (z.B. Bilanzbereiche (BILA)) ein Kreisplot mit 10 äquidistant eingeteilten Farbintervallen

- bei Polygonzugdaten (z.B. Leakagekoeffizient (LERA) oder maximale Infiltration an Knoten (MXKI)) eine Darstellung der Polygone mit maximal 10 Farben (äquidistant)

Ausnahmen für eine andere Voreinstellung sind z.B. bei Potentialen (POTE) oder Quellen/Senken (KNOT) vorhanden. Da diese Datenarten zwar einfach belegte Daten sind, aber in der Regel nur lokal an einzelnen Knoten definiert werden, ist die Voreinstellung eine Kreisdarstellung in der mitgelieferten xsusi.kenn Datei.

In der Datei xsusi.kenn wird die Voreinstellung der Darstellungsparameter der Attribute wie folgt initialisiert:

Nach der Definition der Attributkennungen wird in der Datei die Zeile beginnend mit ".DARSTELLUNG." gesucht. Danach werden bis zum Dateiende bzw. Auffinden einer Zeile beginnend mit ".ENDE." die Darstellungsparameter in folgender Form gelesen:

Zeile 1:

Spalte 1: * : steht für das Initialisierungszeichen einer neuen Kennung

Spalten 2 – 5: KENN: steht für die vierbuchstabige Kennung der Datenart

Spalte 7: Schichtnummer

Zeile 2:

Spalte 1:

k für Kreisdarstellung

f für Flächendarstellung

i für Isoliniendarstellung

Danach folgt frei formatiert die Nummer der Farbpalette (bei Flächen- oder Kreisdarstellung) bzw. die Farbnummer für den Isolinienplot.

Danach (unformatiert) kann bei einer Kreisdarstellung die Höhe des Kreismarkers (für den größten gefundenen Wert) definiert werden mit r_{max} <= 6.0. Sollen alle Kreise gleich groß sein, so muss

r_{max} = 6.0 als max. Radius gewählt werden.

Zeile 3:

Die Spalten sind ohne Formatierung. Zuerst steht ein Parameter für die Wahl der Einteilung:

0: äquidistante Teilung

1: von/bis/Anzahl

2: von/bis/Anzahl (logarithmisch)

3: von/bis/Abstand

4: Einzelwerte

Bei den Einteilungsarten 0, 1, und 2 folgt danach die Anzahl der Intervalle und bei Einteilungsart 4 die Anzahl der Einzelwerte.

Im Fall der Einteilungsarten 1 bis 4 folgt dann:

Zeile 4:

Bei Einteilungsart 1 und 2: frei formatiert 3 Werte: von, bis, Anzahl

Bei Einteilungsart 3: frei formatiert 3 Werte von, bis, Abstand

Bei Einteilungsart 4 mit k oder i: frei formatiert Anzahl der Werte für die Isoliniendarstellung bzw. für die Intervallgrenzen bei der Kreisdarstellung.

bei 'k' Intervallgrenzen

Bei Einteilungsart 4 mit f: frei formatiert Angabe der Intervalle (jeweils Angabe eines minimalen und maximalen Wertes für die Intervallgrenze)

Auszug einer xsusi.kenn als Beispiel für die voreingestellte Darstellung:

```
.DARSTELLUNG.
*1KON 1
k 0 12.0  /* 10 aeq. Farbgrenzen für Kreise in 0-er Palette */
0 10
*AKON 1    /* 10 aeq. Isolinien in Stift 5 */
```

```
i 5
0 10
*EBIL 1    /* gleichgrosse verschiedenfarbige Kreise in 0-er Palette */
k 0 6.0
0 30
*EEEE 1    /* 10 aeq. Intervalle für Farbflächen in 0-er Palette */
f 0
0 10
*GELA 1    /* 1.0 m Isolinien in Stift 5 */
i 5
3
10.0 100.0 1.0
*KWER 1    /* logarithm. eingeteilte Farbflächen in 0-er Palette */
f 0
2 10
1.e-10 1.0 30
...
.ENDE.
```

11 Index

2dm/dbr-Format 333
3D-Ansicht 18
3D-Datei 28
3D-Erweiterung
  über Schichtenanzahl 216
  Vorgabe von Z-Koordinaten 218
3D-Teilmodell
  Aufbau 221
  Darstellung 222
Abbau 306
Abfluss
  schneller 62
Abrisshöhen
  an Vorflutern 62
  instationär 69, 71
Abstandsgeschwindigkeit 301
Abstandsklasse 253
Abstandswichtung 246
Adsorption 304
  linear, nach Henry 304
  nach Freundlich 305
  nach Langmuir 305
Advektion 301
Aktualisieren 8
Alternatives Grafiksystem
  Layer Transparenz 87
Anfangseinstauhöhe 70
Anfangskonzentration 57
Anfangstemperatur 57
Anisotrope k-Werte
  Eingabe im 3D 146
Anisotropie
  Berücksichtigung im 2D 46
  Berücksichtigung im 3D 46
Ansatzfunktion 249, 306
ATKIS-Daten 58, 420
Attribut
  beliebig 67
Attribute
  darstellen 101
  einlesen 142
Attributzuweisung
  manuell 207
auslaufende Schichten 218
Aussickerung
  freie 441
Bahnlinie
  Berechnung in GEONEU 288
  Darstellung 404
  Eingabedialog 404
  Startpunkte 405
  Theorie 403
Batch-Dateien 32
Benutzeroberfläche 15
Beobachtungsdatei
  inverse Modellierung 273
Berechnung
  teilgesättigt 283
  teilgesättigt (3D) 266
Berechnungsmodule 14
Bergsenkung 45
  instationär 69
Bezugspotentiale
  für Vorfluter 62
Bilanzbereich 67
Binärdatei 454
Blockbild
  3D, PL3D 396
Blockformat
  TECPLOT speichern 341
Bodenklasse
  RUBINFLUX, Attribut NKBT 433
Bodenparameter
  globale 429
Bodentyp
  nach Meßer 419
  nach Schroeder&Wyrwich 418
Bodentypen, -klassen 59
Brunnendiskretisierung 74
Brunnenparameter
  zuweisen 196
CORINE land use 59
CORINE land use Daten 420
Courant-Zahl 78
CPU-Prozessor
  Wahl 87
Dämpfung 265
Darstellung
  mit digitalem Höhenmodell 368
  Neubildung 377
Darstellungsart
  Fläche 370
  Ganglinie 373
  Isolinie 366
  Kreise 372
  Linie 365
  Schraffur 359, 370
  Werte 372
Daten
  geometrische 41

stochastische Zuweisung 159
Datenart
instationär 69
Datenausgabe
ArcInfo 336
formatiert 334
Shape-Format 338
TECPLOT 341
Datenbeschaffung 192
Datenexport 333
Daten-Generierung
korreliert 159
unkorreliert 159
Datenkennung
intern 451
Datenkombinationen 72
Datenstruktur 27
Dichtefunktion
speziell für Salz (Meerwasser) 321
Dichtekorrigierte Startpotentiale
Dichtekorrektur 154
Dichteparameter 45
korrigierte Mengen 319
Dichtesteigung
Berechnung 155, 320
DiffEich.txt
Aufbau und Inhalt 452
Datei mit Differenzen 94
Differenzen
Ausgabe 352
Diffusion
molekular 302
Dimensionierungsdatei 30
Dimensionierungsgrößen 30
Direktabfluss
nach Meßer 59
nach Schroeder&Wyrwich 417
Dispersion
hydrodynamisch 304
hydromechanisch 302
Dispersionstensor 302
Dispersivität
Attribute 45
Drahtmodell
3D 384
Dränage
Modellierung 438
Dreieckszerlegung 280
Druckgleichung
instationär 290
Druck-Sättigungsfunktion 281
Dupuit-Annahme 222
Durchlässigkeiten 46
Eichpotentiale 63
Einheiten 39
Einstauhöhe 441
Einstauvolumen 441
Einzugsgebiet
Ermittlung 403
Element
erzeugen 197
Elementbeschreibung 41
Elemente 13
auszublendende 39
Energietransportgleichung 325
Ensight
Speichern 333
Ergebnisdateien 39
Ergebnisdaten
clippen 356
Ergebniskonzentrationen
Umrechnung in AKON 322
Evapotranspiration
potentielle 62
reale 62
Exfiltration 436
Exponential-Verteilung 161
Fangradius
für Bahnlinien 405
Feldkapazität 428
nutzbare 428
FE-Netz
erstellen 189
regelmäßig 189
unregelmäßig 191
Fick'sche Gesetz
erstes 302
Filtergeschwindigkeit 301
Flächenein-/-ausflüsse
instationär 69
Flächeninterpolation 247
Flächennutzung 59
nach Meßer 419
nach Schroeder&Wyrwich 418
RUBINFLUX, Attribut NKFN 433
Flächennutzungklasse
aus RVR-Code 421
Flächennutzungskarte 421
Flächennutzungsklasse
nach Schroeder&Wyrwich 417
Flächennutzungskodierung 420
Flächenversickerung 60
FLIC 347
Fluidkompressibilität 290
Fluidviskosität 321
Flurabstand 60

Flurabstandsklasse....60
nach Meßer....420
Flurabstandsregulierung....437
Flutung....441
kontrollierte....448
natürliche....445
Flutungsparameter....442
instationär....70
Flutungssimulation....56
Formatbeschreibung....29
Fouriersche Gesetz....324
Ganglinie
Ausgabe....345
georeferenziert....374
Ganglinien
Datei erstellen....261
Gangliniendarstellung....37
Ganglinienplot....373
Gauß
Glockenkurve....254
Gefällegradient....60
Gefälleklasse....60
nach Meßer....420
Geländeoberfläche....47
Genauigkeitsparameter
Datenzuweisung....203
Geographische Breite....61
Geoinformationssystem
ArcInfo....336
Gesamtverdunstungshöhe
nach Schroeder&Wyrwich....417
Gesetz von Darcy....280
Gewässerknoten
Zu-/Abgabemenge, instationär....72
Gewässersystem
Quervernetzung....33
Gewässervernetzung....287
GLEI
Anwendungsbeispiel....415
Gleichungslöser....286
direkt, Cholesky....286
iterativer PCG-Löser....286
Mehrgitter-....286
Gradientenverfahren....264
gruben.csv
Aufbau und Inhalt....452
Grubenbauwerke....56, 441
Grundwassermodell
Fragestellungen....191
Gruppenattribut
Attribut - Gruppe teilen....143
Halbwertszeit....308
Heberreihen....57
Hilfe....25
Hilfsdaten....67
Hintergrunddatei....451
Höhenmodell
Darstellung....368
Hubbert
Gesetz von....280
hydrostatischer Druck....280
Hysterese....53
Import
Teilmodell....224
Infiltration....436
Initialisierungsdatei
plogeo.ini....32
spring.opt....32
Installation....8
Instationäre Dateien
out66, null....37
Instationäre Daten
darstellen....103
instationäre Eingabedatei
aus Berechnungsergebnissen....354
Instationäre Eingabedatei....34
instationäre Strukturen....35
instationäre Zeitpunkte
importieren....180
Interaktion zwischen Grundwasser und Oberflächengewässern....65
Interpolation....244
flächenhaft....244
Knotenzug....259
linienförmig....244
Nearest Neighbour....244
von Grundwassergleichenplänen....255
Zusätzliche Stützstellen....255
Interpolationsdaten
Datei mit....245
Interpolationsverfahren....246
Interpolationswerte....39
Isochrone....405
Isolinien-Export
Export von Isolinien mit Werten....339
Isotropie
K-Werte....46
Kalibrierung
Beispiel....211
Gradientenverfahren....264
Hinweise....214
inverses Verfahren....268
iterativ....264
schematisches Vorgehen....214
Kapillardruck....282
Kennungen, unbekannte

xsusi.kenn 462
Kennungsnummer
Datenart....455
Klimadaten
instationär....429
Klima-Zeitreihen
instationäre Neubildung 434
Klimazonen
nach Meßer 421
Klimazonen, -daten....61
Klimazonen-ID
Attribut KNID 433
Kluftbeschreibung 42
Kluftdaten
darstellen....399
Klüfte
erzeugen mit LERA 229
Klufteigenschaften 47
Kluft-Konturen
erstellen....128
Kluftmächtigkeiten 48
Kluftöffnungsweite 48
Kluftparameter
für Konturen....129
Kluft-Schnittspuren
plotten....390
Knoten....12
erzeugen 196
Knotenabstand
durchschnittlicher 196
Knotenein-/-ausflüsse
instationär....70
Knotenkoordinaten....43
Knotenzug-Datei 260
Kolmation 436
Kompressibilität
Fluid-, Matrix- 291
Gesamt-....48
Kontinuitätsbedingung 280
Kontrolllinie
Nutzungshinweise 411
Sortierung....411
Theorie 411
Zuweisungsrichtung 414
Kontrolllinien 67
Kontur
erzeugen 194
Konturen 11
Konzentration....57
feste....57
instationär....70
Konzentrationsgradient....302
Kovarianz....275
Kreisskalierung 372
Kriging 247
Variogrammerstellung 247
k-Wert
relativer 281
K-Wert 46
Beschränkung 47
instationär 70
Verhältniswert 47
vertikal 47
K-Werte
Korrektur über ALLE Schichten 46
Schichtkorrektur für ALLE Schichten 164
Schichtkorrektur für ausgewählte Schichten . 164
Lagehöhe 61
Layout 379
Leakage
bei undurchlässiger schicht 437
Beziehungen 436
Leakage-Beschränkung 50
instationär 70
leakageBILE.csv
Aufbau und Inhalt 452
leakageBILK.csv
Aufbau und Inhalt 452
Leakageeigenschaften 48
Leakagekoeffizient
für Vorfluter 48
instationär 71
Verhältniswert 50
Log-Normal-Verteilung 161
Mächtigkeit 51
Anpassung 266
Berechnung von 51
instationär 71
Markierung 68
Massenbilanz 411
im Kontrollvolumen 415
Massenfluss
advektiv 301
Maßstabsbalken
plotten 390
Maßstabsdaten 43
Materialdaten 45
für anisotrope Zonierung im 2D 51
Matrixkompressibilität 290
Mehrkomponentenparameter 58
Menü
Ansicht 97
Attribute 142
Bearbeiten 83
Berechnung 186
Datei 81

Extras 177
Hilfe 187
Karte 166
Kontur 125
Layer 169
Netz 130
Objekt 171
Raster 175
Struktur 111
Menüleiste 15
Modellart 43
Aufbau 188
Modelldatei 28
*.net 28
Zeiteinheit festlegen 192
Modellprüfung 241
Nachbelegung der Daten
automatisch 223
Netzgenerator
TRIANGLE 197
Netzgenerierung 134
automatisch 189
Netzrand
definieren 190
Netzverfeinerung
vertikal 219
Neubildung 58
Neubildungsberechnung
nach Bodenwasserbilanz 428
nach Meßer 2008 419
nach Schroeder&Wyrwich 417
Neubildungsrate
Berechnung 417
instationäre, Berechnung 432
Niederschlag 61
Nordpfeil 380
plotten 390
Normal-Verteilung 160
NUM
NUM 7 262
Nummerierung
automatisch 223
Nummernoffset 43
Nutzungsartenkatalog 421
Oberfläche 52
freie 283
Operatorsplitverfahren 78
Optionen
Allgemein 85
Farben 96
Netz 87
Objekte 94
Plot 90
Ortsdiskretisierung 73
Parameterdatei
inverse Modellierung 272
Passpunkte 380
Peclet-Zahl 77
Ploterstellung 357
Batchdatei 386
Messdaten 361
Verrechnen von Daten 360
Vertikalschnitt 363
Polderbrunnen 437
Polynom
Ausgleichs- 248
kubisches 248
Porosität 52
Potentiale 62
feste 63
gleiche unbekannte 63
instationär 71
maximale, instationäre 299
Potentialwertausgabe 69
Process Launcher 297
Process Observer 297
Produktion 306
Programmstart 9
Projektinformationen 18
Projektmanager 16
Protokoll
detailliert 285
Quellterme 55
Randbedingungen 55
Randknoten
für 3D-Gebiet 43
Randknotengenerator 137
Rasterknotengenerator 138
reaktion.csv
Aufbau und Inhalt 452
Reale Verdunstung 419
reale Verdunstungshöhe
Ermittlung 421
Rechtecknetze
Generator für 41
Referenzkonzentration 321
Reliefenergie
für Neubildungsberechnung 417
Residuum 286
Retardation 301
RUBINFLUX
instationäre Neubildungsberechnung 432
RVR-Code
Flächennutzung 418
RVR-Klassen
KVRN 61

Sättigung
relative 281
Sättigungsparameter 53
Schichteinteilung 44
Schichtkorrektur
automatische Korrektur der K-Werte 163
Schichtüberschneidungen 153
Schlieren
Ausgabe 347
Darstellung 407
Einzugsgebietsermittlung 407
See
durchströmende Wassermenge 415
Sensitivität 275
Shadermodell 163
Sickerlinie
im Damm 439
Sickerlinienknoten 64
Sickerrandbedingung
instationär 71
sitra_vsys.txt
Gewässersystem-Quervernetzung 33
sitr-Datei 33
Sollwerte 37
Speicherkoeffizient
Attribute 54
Druck- 291
spezifischer 290
Speichertermberechnung 295
Spitzenwerte
instationäre 299
SPRING Process Launcher 240
SPRING-DTNLIB 454
SPRING-Menüs 80
Stabilitätskriterium
der Ortsdiskretisierung 76
für Zeitdiskretisierung 78
Statusleiste 16
Stauziel
einer Grube 442
Flutungsparameter 442
Steuerdatei
aaa 454
Stofftransport 301
dichteabhängig 318
Komponenten 301
nicht-konservativ 310
notwendige Angaben 231
Streamlets 298
STRING 298
Stromlinie
Ausgabe von 343
darstellen 407
Startpunkte 344
Theorie 406
Strömung
instationär 290
invertiert 409
isotrop 46
Struktur
Einbau in bestehendes Modell 199
erstellen, importieren 193
modifizieren 194
Strukturdaten
direkte Zuweisung 201
Strukturdatendatei 30
ASCII-Format 31
Strukturen 10
Sümpfungsbrunnen 438
Support 26
Symbolleisten 16
TECPLOT 341
Teilmodell
importieren 224
löschen 224
Teilung
äquidistant 367
Temperatur 57, 64
feste 57
instationär 70
Texte
KTXT, ETXT 69
Textfeld 380
Topografische Karte
Darstellung 379
Tracer
idealer 301
Transmissivität 54
bei Interpolation 255
Transportmodell
erstellen 231
Transportprozess
konservativ 301
Triangulierung in SPRING 139
Tunnel - Erstellung 184
Tunnelerstellung
Anleitung 184
Uferfiltratmenge
Ermittlung 412
Undurchlässige Schicht 54
Ungesättigte Zone 54
Unterfläche 54
van Genuchten 281
Variogramm
exponentielles 248
Gauß 248

sphärisches 248
Variogrammtyp 253
Verdunstung 62
potentielle 428
Verformungsparameter 64
Versickerungsmulde 65
Versiegelung 62
Versiegelungsgrad 429, 432
Verteilungsfunktionen 160
Vertikalschnitt 19
Viereckszerlegung 280
Viskosität 326
Vorflutinteraktion 436
Vorflutpotentiale
instationär 71
Vorflutwasserspiegel
Darstellung 378
Vorland
Berücksichtigung bei Interpolation 259
Vorlandknoten
Datei erstellen 261
Wärmediffusionsparameter 325
Wärmefluss
aufgrund Wärmeleitfähigkeit 324
durch Dispersion 324
konvektiv 324
Wärmeparameter
zoniert 331
Wärmeproduktionsrate 64, 70, 326
Wärmetransport 324
konvektiv 324
Wassereintrittsdruck 282
Wassergehalt
bei Feldkapazität (NKFK) 434
bei permanentem Welkepunkt (NKWP) 434
Boden 62
Wasserhaushaltsgleichung 417
Wasserschutzzone
Ausweisung von 405
Welkepunkt
permanenter 428
Wiedereinleitung
Wärmetransport 38
Wurzeltiefe
effektive 428
xsusi.kenn
Datei 461
Zeitdiskretisierung 78
Zeiteinheit 44
Zeitreihen-Export 298
Zeitschrittweite
Erläuterung 232
Zerfall
radioaktiv, biologisch 308
Zielfunktion
inverse Modellierung 270
Z-Koordinaten 44
zonierte Parameter
Datei erstellen 39
Zonierung
Abbau- und Produktionsparameter 55
Adsorptionskoeffizient, Wärmeparameter 55
Anisotropie 2D 54
Anisotropie 3D 55
inverse Modellierung 55
inverse Modellierung 269
Zonierungsdatei 38
Zuflüsse
knotenweise 65
streckenweise, über den Rand 66
Zuflusskonzentrationen 58
Zugabemenge 442
Zusatzdateien 29
Zustrom
grundwasserbürtig 413
Zwangsgeometrie 191